

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان  
Université ABOUBEKR BELKAID – TLEMCEN  
كلية علوم الطبيعة والحياة، وعلوم الأرض والكون  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de  
l'Univers  
Département Sciences de la Terre et de l'Univers.



# MÉMOIRE

Présenté par  
**KADDOUR AISSA Nour El Houda**  
**MOSTEFAOUI Faiza**

En vue de l'obtention du

**Diplôme de MASTER**

En **Hydrogéologie**

## Thème

Contribution à l'étude qualitative des eaux de la source Ain El  
Koudia. (Tlemcen, Ouest algérien).

Soutenu le 28/06/2022 devant le jury composé de :

Président	Mr BENCHOUK Mustapha	M.A.A	Université de Tlemcen.
Encadrant	Mr BOUDJEMA Abderrezak	M.C.A	Université de Tlemcen.
Co-Encadrant	M <sup>me</sup> GUETTAIA Sabrina	M.C.A	Université de Tlemcen.
Examineur	Mr CHIKH Mourad	M.A.A	Université de Tlemcen.

**Année universitaire 2021/2022.**

# *Remerciement*

Tout d'abord, nous remercions Allah, le tout-puissant qui nous a donné le courage, la patience et la santé et qui nous a aidées à réaliser ce modeste travail.

Louange et grâce à dieu pour nous avoir bénis avec de nombreuses personnes formidables qui ont été nos plus grands soutiens dans notre vie personnelle et d'études. Nous aimerons saisir cette occasion pour exprimer nos plus sincères remerciements et notre gratitude à nos encadreurs : **Mr. BOUDJEMA Abderrezak** et **M<sup>me</sup> GUETTAIA Sabrina** d'avoir accepté de nous encadrer, pour leurs sincères efforts, leurs orientations précieuses, leurs critiques constructives, et leurs patiences tout au long des étapes de la mise en lumière de ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères et profondes gratitudeux aux membres du jury, d'avoir accepté d'évaluer notre modeste travail : **Mr. CHIKH Mourad** et **Mr. BENCHOUK Mustapha**. Qu'ils soient vivement remerciés.

Nos gratitudeux s'adressent également à nos parents pour leurs soutiens et leurs encouragements et à tous nos amies et collègues, pour le temps qu'ils ont consacré pour nous aider.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers de l'Université de Tlemcen.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes très chers parents, ils m'ont toujours mené le sentiment de la fierté et n'ont jamais hésité de me soutenir dans ma vie personnelle et dans mon chemin d'études.*

*Ma mère, la source et l'espoir*

*Mon père, le repère et l'exemplaire*

*Je vous aime beaucoup Maman et papa, je vous souhaiterai une longue et joyeuse vie.*

*Mes chers frères... Yassine Salem et Sadek,*

*Mes chères sœurs... Fouzia, Souhila, Karima et sans oublier la femme de mon frère Naima et mes nièces Rahaf et Zahira*

*Tous les membres de ma famille et ma belle-famille spécialement mon fiancé.*

*Mon binôme Mostfaoui Faiza, je lui souhaiterai le meilleur.*

*Tous mes amies : Hayat, Farah, Chouchou, Souhila, Chaimaa et Zineb.*

*Mes chères collègues, spécialement Hadjer, Asma, Chaimaa, Sara, Fatima et toute la promotion d'hydrogéologie.*

*Tous ceux qui me connaissent et à tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce modeste travail.*

**Nour El Houda Kaddour Aissa.**

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail à :*

*Mes chers parents, à qui j'exprime toute ma gratitude d'avoir atteint mon but grâce à eux,*

*Ma cousine Mostefaoui Meriem et mes collègues spécialement Benichou Asmae et Bab El Ayat Hadjer et toute la promotion d'hydrogéologie.*

*Mon binôme Kaddour Aissa Nour El Houda, je lui souhaiterai une bonne continuation.*

*Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour réaliser ce travail.*

*Aux martyrs de la lutte de libération nationale, qui par leurs sacrifices ont permis à nos générations d'accéder à la liberté et à la science.*

**Faiza Mostefaoui.**

## المساهمة في الدراسة النوعية لمياه عين الكدية (تلمسان، غرب الجزائر).

### ملخص:

يتمثل هذا العمل في دراسة أصل تمعدن منبع عين الكدية و دراسة مكوناته الفيزيوكيميائية حيث يقع جنوب بلدية الكدية تلمسان, و يحمل نفس اسم المنطقة. وفقا للتحليلات الفيزيائية و الكيميائية لهذا المنبع تبين أنها ضمن معايير القابلية الجزائرية للشرب باستثناء بضع السنوات ذات نسب عالية من الصلابة الكلية لا تتوافق مع معايير الشرب. فيما يتعلق بالرّي أظهرت نتائج حساب المؤشرات مثل النسبة المئوية ل  $Na^+$  و KR جيدة جدا إلى جيدة ( $Na^+$  %) و ذات نوعية جيدة (KR أقل من 1). توضح المخططات التابعة لمجال الرّي أن المياه جيدة إلى مقبولة : وفقا لمخطط RIVERSIDE ممتازة و جيدة بالنسبة إلى WILCOX. صنف مخطط SCHOELLER-BERKALOFF المياه المدروسة إلى وجهتين : الأولى بكاربونات المغنيسيوم أما الثانية بكاربونات الكالسيوم. بينما أبرز مخطط PIPER عائلتين: بكاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم (أكثر الوجوه انتشارًا) وكلوريد الكالسيوم والمغنيسيوم كبريتات. **الكلمات المفتاحية** :منبع عين الكدية- تلمسان- التحليل الفيزيائيو كيميائي -مخطط – القابلية للشرب– الرّي – PHREEQ C- ACP- XLSTAT- التمعدن.

# CONTRIBUTION A L'ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DE LA SOURCE D'EL KOUDIA. (TLEMCCEN, OUEST ALGERIEN).

## Résumé

Ce présent travail consiste à déterminer l'origine de la minéralisation de la source captée d'Ain El Koudia, située au Sud d'El Koudia (Tlemcen).

Les analyses des paramètres physico-chimiques disponibles des eaux de la source montrent que tous les paramètres étaient au-dessous des normes algériennes de potabilité, à l'exception de quelques années, où nous avons constaté des taux élevés de la dureté totale qui dépassent la norme maximale admissible.

En ce qui concerne l'aptitude à l'irrigation, les calculs des indices, comme le pourcentage en  $\text{Na}^+$  et le KR ont montré que les eaux étaient bonnes à très bonnes (%  $\text{Na}^+$ ) et de bonne qualité (KR inférieur à 1). La représentation par des diagrammes à des fins d'irrigation montre que les eaux sont bonnes à admissibles, selon le diagramme de RIVERSIDE et excellentes à bonnes selon WILCOX.

Le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF a classé les eaux en deux faciès : faciès bicarbonaté magnésien et faciès bicarbonaté calcique. Tandis que le diagramme de PIPER a fait ressortir deux familles : bicarbonatée calcique et magnésienne (la plus dominante) et chlorurée sulfatée calcique et magnésienne.

Le report des éléments chimiques sur le diagramme PHREEQ C, nous a montré que les indices de saturation pour les minéraux carbonatés sont généralement en équilibre, à l'exception de quelques périodes qui sont sous-saturées en dolomite et en calcite. Les minéraux évaporitiques sont sous-saturés pour toutes les eaux étudiées.

Les résultats analytiques de l'étude statistique ont montré que l'origine de la minéralisation est due à la dissolution des minéraux de l'aquifère carbonaté ainsi qu'aux facteurs anthropiques.

**-Mots clés :** Source d'El Koudia, Tlemcen, Analyses physico-chimiques, Diagrammes, Potabilité, Irrigation, XLSTAT, PHREEQ C, ACP, Minéralisation.

# CONTRIBUTION OF THE QUALITATIVE STUDY OF THE WATERS OF THE EL KOUDIA SOURCE (TLEMEN, WEST OF ALGERIA).

## ABSTRACT

This present work consists in determining the origin of the mineralization of the captured source of Ain El Koudia, located south of El Koudia (Tlemcen). According to the analyzes of the available physical -chemical parameters of the waters from the source, all the parameters were below the Algerian potability standards, with the exception of a few years, where we noted the high rate of total hardness which met the maximum allowable standard. With regard to the suitability for irrigation, the calculations of the indices, such as the percentage of  $\text{Na}^+$  and the KR showed that the waters were good to very good (%  $\text{Na}^+$ ) and of good quality (KR less than 1). The representation by diagrams for irrigation purposes shows that the waters are good to acceptable, according to the diagram of RIVERSIDE and excellent to good according to WILCOX. The SCHOELLER-BERKALOFF diagram classified waters into two facies: magnesium bicarbonate facies and calcium bicarbonate facies. While the PIPER diagram highlighted two families: calcium and magnesium bicarbonate (the most dominant facies) and calcium and magnesium sulfated chloride.

The ratio of chemical elements on the PHREEQ C diagram showed us that the saturation indices for carbonate minerals are generally in equilibrium, except for a few periods which are undersaturated in dolomite and calcite. The evaporitic minerals are under saturated for all the waters studied. The analytical results of the statistical study showed that the origin of the mineralization is due to the dissolution of the minerals of the carbonated aquifer as well as to anthropogenic factors.

**Key Words:** Source of El Koudia, Tlemcen, Physical chemical analysis, Diagrams, Potability, irrigation, XLSTAT, PHREEQ C, PCA, Mineralization.

## Liste Des Figures.

<b>Figure I.1</b> : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen modifié (Moussouni. A et al,2019).....	20
<b>Figure I.2</b> : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen et les grands ensembles géomorphologiques (BENSOULA Fouzia.,2006).....	21
<b>Figure I.3</b> : Situation géographique de la source Ain El Koudia (googel Map).....	22
<b>Figure I.4</b> : Variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).....	24
<b>Figure I.5</b> : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles Station de Tlemcen (1995-2020).....	25
<b>Figure I.6</b> : Histogramme des précipitations saisonnières.Station de Tlemcen. ....	25
<b>Figure I.7</b> : Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales.Station de Tlemcen (1995-2020).....	27
<b>Figure I.8</b> : Diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen (1995-2020).....	28
<b>Figure I.9</b> : Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne.....	28
<b>Figure I.8</b> : Climagramme d'Emberger.....	29
<b>Figure II.1</b> : Extrait de carte géologique de Tlemcen au 1/50000 (Doumergue, 1922).....	35
<b>Figure II.2</b> : Colonne litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu'aux les hautes plaines ( Benest&Bensaleh ,1999).....	36
<b>Figure II.3</b> : Zones aquifères de Tlemcen (D'après Collignon B., 1984 ; in Bemoussat A.,2012).....	37
<b>Figure II.4</b> : Coupe Transversale des Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères de la région (COLLIGNON, 1986).....	40
<b>Figure III.1</b> : Histogramme du pH.....	44
<b>Figure III.2</b> : Histogramme des conductivités électriques.....	44
<b>Figure III.3</b> : Histogramme de la minéralisation.....	45
<b>Figure III.4</b> : Histogramme des résidus secs.....	49
<b>Figure III.5</b> : Histogramme de calcium.....	49
<b>Figure III.6</b> : Histogramme de magnésium.....	50
<b>Figure III.7</b> : Histogramme de sodium.....	50
<b>Figure III.8</b> : Histogramme de potassium.....	51
<b>Figure III.9</b> : Histogramme des Chlorures.....	52

<b>Figure III.10</b> : Histogramme des sulfates.....	52
<b>Figure III.11</b> : Histogramme des Bicarbonates.....	53
<b>Figure III.12</b> : Histogramme des Nitrates.....	53
<b>Figure III.13</b> : Distribution des faciès chimiques de la source d'Ain El Koudia.....	56
<b>Figure III.14</b> : Classification des eaux selon Schöeller-Berkaloff .....	47
<b>Figure III.15</b> : Classification des eaux selon Schöeller-Berkaloff .....	58
<b>Figure III.16</b> : Diagramme de stabler. ....	59
<b>Fig. (A) III.17</b> : Diagrammes de Piper.....	60
<b>Fig. (B) III.17</b> : Diagrammes de Piper.....	61
<b>Figure III.18</b> : Diagramme de RIVERSIDE.....	64
<b>Figure III.19</b> : Diagramme de WILCOX.....	65

## Liste Des photos.

<b>Photo 01</b> : La source d'El Koudia (2022).....	22
---	----

## Liste des photos en annexes.

<b>Photo N° 01</b> : La Source Ain El Koudia.....	82
<b>Photo N° 02</b> : Echantillonnage .....	82
<b>Photo N° 03</b> : Conductimètre.....	83
<b>Photo N° 04</b> : pH mètre.....	83
<b>Photo N° 05</b> : Mesure au laboratoire de la dureté totale (au début coloration violette).....	84
<b>Photo N° 06</b> : Dosage de la dureté totale $Ca^{2+}$ et $Mg^{2+}$ jusqu'à coloration bleue Franc de la source Ain El Koudia.....	84
<b>Photo N° 07</b> : Solution de Dichromate de Potassium a une coloration JAUNE avant dosage des Chlorures $Cl^-$ de la source Ain El Koudia.....	85
<b>Photo N° 08</b> : Dosage des Chlorures $Cl^-$ (Méthode de Mohr) jusqu'à coloration ROUGE qui persiste de la source Ain El Koudia.....	85
<b>Photo N° 09</b> : Dosage du Calcium $Ca^{2+}$ jusqu'à coloration BLEUE de la source Ain El Koudia.....	86

## Liste Des Tableaux

<b>Tableau I. 1</b> : Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen.....	23
<b>Tableau I.2</b> : Précipitations moyennes annuelles /station de Tlemcen (1995-2020).....	23
<b>Tableau I. 3</b> : Précipitations moyennes mensuelles.Station de Tlemcen (1995-2020).....	24
<b>Tableau I.4</b> : Précipitations moyennes saisonnières à la station de Tlemcen (1995-2020).....	25
<b>Tableau I.5</b> : Températures moyennes, maximales et minimales.....	26
<b>Tableau I.6</b> : Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).....	27
<b>Tableau I.7</b> : Indice d'aridité de DE Martonne.....	28
<b>Tableau I.8</b> : Indice d'aridité de DE Martonne.....	28
<b>Tableau I.9</b> : Résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.....	29
<b>Tableau I. 10</b> : Indice d'Emberger calculé à la station de Tlemcen.....	29
<b>Tableau III.1</b> : Pourcentage de la Balance ionique.....	44
<b>Tableau III.2</b> : Relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J., 2009).....	44
<b>Tableau III.3</b> : Conductivités et minéralisations des eaux de source étudiées.....	45
<b>Tableau III.4</b> : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier J., 2009).....	46
<b>Tableau III.5</b> : Minéralisation des eaux étudiées.....	46
<b>Tableau III.6</b> : Classification des eaux en fonction de la dureté.....	47
<b>Tableau III.7</b> : Dureté totale des eaux de source étudiées.....	48
<b>Tableau III.8</b> : Classification des eaux, selon leur faciès chimique.....	54
<b>Tableau III.9</b> : Classification des eaux de la source d'Ain El Koudia, selon leur potabilité, suivant les normes algériennes (JORA 2014,2011).....	55
<b>Tableau III.10</b> : Classification des eaux, selon le pourcentage en Na <sup>+</sup> .....	62
<b>Tableau III.11</b> : Pourcentages en Sodium des eaux de la source étudié (Ain El Koudia).....	62
<b>Tableau III.12</b> : Classification des eaux selon l'indice de Kelly's Ratio (Kr).....	63
<b>Tableau III.13</b> : Valeur du Kr des eaux de la source d'Ain El Houdia étudiées.....	63
<b>Tableau III.14</b> : Classement des eaux selon le Sodium Absorption Ratio (S.A.R).....	64
<b>Tableau III.15</b> : Classification des eaux selon l'indice de saturation d'après PHREEQ C.....	66
<b>Tableau III.16</b> : Indice de saturation d'après PHREEQ C.....	66
<b>Tableau III. 17</b> : Matrice de corrélation.....	67
<b>Tableau III.18</b> : Classification des eaux selon la matrice de corrélation « r ».....	68
<b>Tableau III.19</b> : Coefficient de variation des éléments chimiques majeurs.....	68

**Tableau III.20** : Corrélations entre les variables et les facteurs.....69

### **Liste Des Tableaux en Annexes.**

**Tableau N° 01** : Précipitations enregistrées dans la station de Tlemcen (1995-2020).....78

**Tableau N° 02** : Températures moyennes enregistrées dans la station de Tlemcen (1995-2020).....79

**Tableau N° 03** : Numéros correspondants aux dates des analyses.....80

**Tableau N° 04** : Paramètres physico-chimiques de la source d'Ain El koudia.....80

**Tableau N° 05** : Classification des eaux d'irrigation, d'après Servant ,1975 (U.S SalinityLab).....81

**Tableau N° 06** : Normes algériennes de potabilité des eaux.....81

## LISTE DES ABREVIATIONS.

**P** : Précipitations.

**T** : Température.

**BI** : Balance Ionique.

**Meq/l** : Méli-équivalent par litre.

**r** : quantité en réaction.

**pH** : potentiel Hydrogène.

**CE**: Conductivité électrique.

**TH**: Titre hydrotimétrique.

**RS** : Résidu Sec.

**Ca<sup>+</sup>**: Ion Calcium.

**Mg<sup>+</sup>**: Ion Magnésium

**Na<sup>+</sup>**: Ion Sodium.

**K<sup>+</sup>**: Ion potassium.

**HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Ion Bicarbonate.

**Cl<sup>-</sup>** : Ion Chlorure.

**SO<sub>4</sub><sup>-</sup>** : Ion sulfate.

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : Ion Nitrate.

**C.M.A** : Concentration Maximale Admissible.

**Kr** : Indice de Kelly's Ratio.

**Na%** : Pourcentage en sodium.

**SAR** : Sodium Adsorption Ratio.

**A.C.P.** : Analyse en Composante Principale.

**A.D.E.** : Algérienne Des Eaux.

**A.N.R.H.** : Agence Nationale des Ressources Hydraulique

## TABLE DES MATIERES

Remerciements .....	1
Dédicace 01.....	2
Dédicace 02.....	3
ملخص .....	4
Résumé.....	5
Abstact.....	6
Liste des figures .....	7
Liste des tableaux.....	9
Liste des abréviations.....	11
Table des matières.....	12
Introduction générale.....	01

### CHAPITRE I : SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SYNTHESE CLIMATIQUE.

I. Situation Géographique et Synthèse Climatique.....	19
I.1 Situation Géographique : .....	20
I.1.1 Situation géographique générale : .....	20
I.1.2 Situation géographique de la zone d'étude (source d'El Koudia) : .....	21
I.2 Synthèse climatique : .....	23
I.2.1 Introduction : .....	23
I.2.2 L'étude des paramètres climatologiques : .....	23
I.2.2.1 Les précipitations : .....	23
1. Précipitations moyennes annuelles : .....	23
2. Précipitations moyennes mensuelles : .....	24
3. Précipitations saisonnières : .....	25
I.2.2. Étude des températures : .....	26
1. Températures moyennes mensuelles : .....	26

I.2.3 Étude du climat : .....	27
1. Méthode de visualisation (méthode graphique) : .....	27
1.1 Les courbes pluvio-thermiques : .....	27
2. Les indices climatiques : .....	27
2.1 Indice d'Aridité de DE Martonne(1923) : .....	27
a. Indice d'aridité annuel : .....	28
b. Indice d'aridité mensuel : .....	29
I.2.3 Climagramme d'EMBERGER : .....	29
I.3 Conclusion : .....	30

## **CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE ET SYNTHÈSE HYDROGEOLOGIQUE.**

II. Cadre Géologique et Synthèse Hydrogéologique : .....	31
II.1 Géologique : .....	32
II.1.1 Description litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen : .....	32
A. Le secondaire : .....	32
1. Le Trias : .....	32
2. Le Lias et le Dogger : .....	32
3. Les argiles de Saida : .....	32
4. Les grès de Boumediène : .....	32
5. Les calcaires de Zarifet : .....	32
6. Les dolomies de Tlemcen : .....	33
7. Les calcaires de Stah : .....	33
8. les marno- calcaires de Raourai : .....	33
9. Les calcaires de Lato : .....	33
10. Les dolomies de Terny : .....	33
11. Les marno-calcaires de Hariga : .....	33
12. Les marno-calcaires d'Oueld Mimoune : .....	33
13. Le Crétacé : .....	33
▪ Les argiles de Lamoricière : .....	34
▪ Les grès de Berthelot : .....	34
▪ Les calcaires de Zigyne : .....	34
B. Le Tertiaire : .....	34
1. L'Éocène : .....	34

2. Le Miocène :	34
▪ Inférieur :	34
▪ Moyen (Serravallien) :	34
▪ Supérieur (Tortonien) :	34
C. Le Plio-Quaternaire :	34
II.1.2 Analyse structurale :	37
II.1.2.1 Les principales phases tectoniques :	37
1) Une phase distensive Eo-Crétacée :	37
2) Une phase atlasique :	37
3) Une phase à dominante distensive :	37
4) Une phase récente :	37
5) Déformations actuelles :	37
II.1.2.2 Les unités structurales :	38
1. Zone synclinale de Terni :	38
2. Zone effondrée de Tlemcen :	38
3. Zone haute des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz :	38
4. Zone d'Er-Ramlya :	38
II.2 Synthèse Hydrogéologique :	38
II.2.1 Caractéristiques hydrogéologiques des formations lithologiques :	39
A. Les formations calcaires du Jurassique :	39
B. Les formations du Jurassique :	39
C. Les formations du Crétacé :	39
D. Les formations du Mio-Plio-Quaternaire :	39
1. Les formations calcaires du Jurassique :	39
2. Les dolomies de Tlemcen :	39
3. Les dolomies de Terni :	39
4. Les grès de Boumediene :	39
5. Les Marno-calcaires de Raouraï, d'Hari ga et de Lamoricière.	40
6. Grés de Merchiche :	40
7. Les conglomérats du Miocène inférieur :	40
8. Les grès Tortoniens :	40
II.3 Conclusion :	40

## CHAPITRE III : CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

III.1.Introduction :	43
III.2.Balance ionique :	43
III.3.études des paramètres physico-chimiques :	43
III.3.1. Les paramètres physiques :	44
1. Potentiel d'hydrogène (pH) :	44
2. Conductivité électrique (CE):	45
3. Minéralisation :	47
4. Dureté totale (TH) :	47
5. Résidu sec :	48
III.3.2. Les paramètres chimiques :	49
a. Les cations :	49
1. L'ion Calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) :	49
2. L'ion Magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) :	50
3. L'ion Sodium ( $\text{Na}^+$ ) :	50
4. L'ion Potassium ( $\text{K}^+$ ) :	51
b. Les anions :	51
1. L'ion Chlorure ( $\text{Cl}^-$ ):	51
2. L'ion Sulfate ( $\text{SO}_4^-$ ) :	52
3. L'ion Bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) :	53
4. L'ion Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ):	53
III.3.3. Récapitulation et classification selon les paramètres physico-chimiques :	54
III.4. Classification des eaux :	54
1. Diagramme logarithmique de H. SCHOELLER et E. BERKALOFF :	55
2. Diagramme de STABLER :	58
3. Diagramme triangulaire de PIPER :	49
III.5 Aptitude des eaux destinées à l'irrigation :	62
1. Le pourcentage en sodium :	63
2. Indice de Kelly's Ration (Kr) :	64
3. Diagramme de Riverside :	65
4. Diagramme de WILCOX :	65
III.6. Origine de la minéralisation :	67
a)Indice de saturation	67
III.7. Etude statistique	67
III.7.1. Principe et méthode de l'analyse en composantes principales (A.C.P) :	67
III.7.2. Matrice des corrélations et matrice des covariances :	67
a. Matrice des corrélations :	67
b. Coefficient de variation :	67

III.7.3. Analyse en composante principale : .....	68
III. 8. Conclusion : .....	70
<b>CONCLUSION GENERALE :</b> .....	73
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :</b> .....	76
<b>ANNEXES :</b> .....	78

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément naturel important et indispensable à toute forme de vie, elle est une source précieuse nécessaire à toutes activités humaines, c'est un facteur de production déterminant dans le développement durable, elle devient de plus en plus au centre des intérêts stratégiques. Ces dernières années, les eaux souterraines ont connu une forte pollution due aux rejets des eaux usées domestiques et industrielles et à l'utilisation intensive des engrais.

Tlemcen est connue par ses sources qui sont utilisées pour la consommation et/ou l'irrigation.

Dans ce présent travail, nous allons étudier l'origine de la minéralisation de la source d'El Koudia située au Sud de la commune d'El Koudia. Cette étude s'étalera en trois parties :

**\*Cadre géographique et synthèse climatique:** pour présenter la situation générale et locale de la zone étudiée ainsi que pour faire ressortir le type du climat qui règne dans le site d'étude et de déterminer la variation des paramètres climatiques qui influencent le régime de la source.

**\*Cadre Géologique et synthèse hydrogéologique :** Décrire les différentes formations géologiques, et les grands traits structuraux et identifier les formations géologiques qui peuvent être aquifères.

**\*Cadre Hydrogéochimique:** Une étude qualitative de l'eau de la source captée sera faite selon les analyses physico-chimiques disponibles, leur faciès, leur potabilité selon les normes algériennes et aussi leur aptitude pour l'irrigation. Une étude statistique sera réalisée, pour déterminer l'origine de la minéralisation des eaux.

En fin, une **Conclusion Générale** clôturera ce travail, où nous allons présenter les différents résultats obtenus.

**CHAPITRE I :  
SITUATION GEOGRAPHIQUE  
ET SYNTHÈSE CLIMATIQUE**

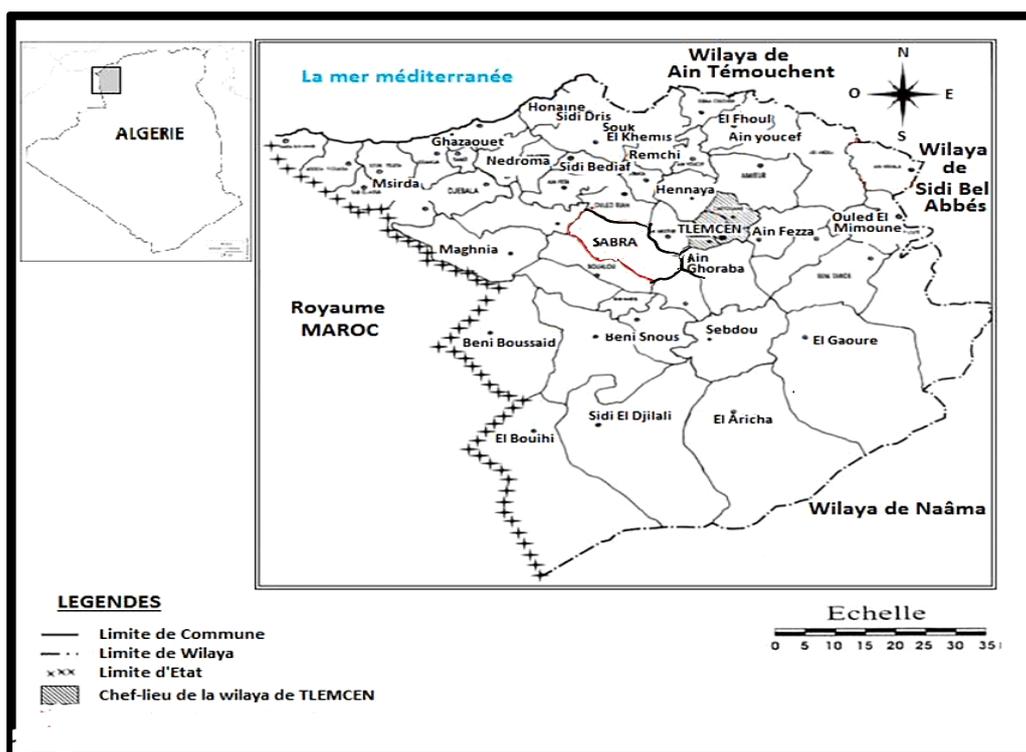
## I. Situation Géographique et Synthèse Climatique

### I.1 Cadre géographique :

#### I.1.1. Situation géographique générale :

La Wilaya de Tlemcen est située à l'extrémité nord-ouest de l'Algérie, avec une superficie de 9 017,69 km<sup>2</sup>(Wikipédia). Elle est limitée (Fig.I.1) :

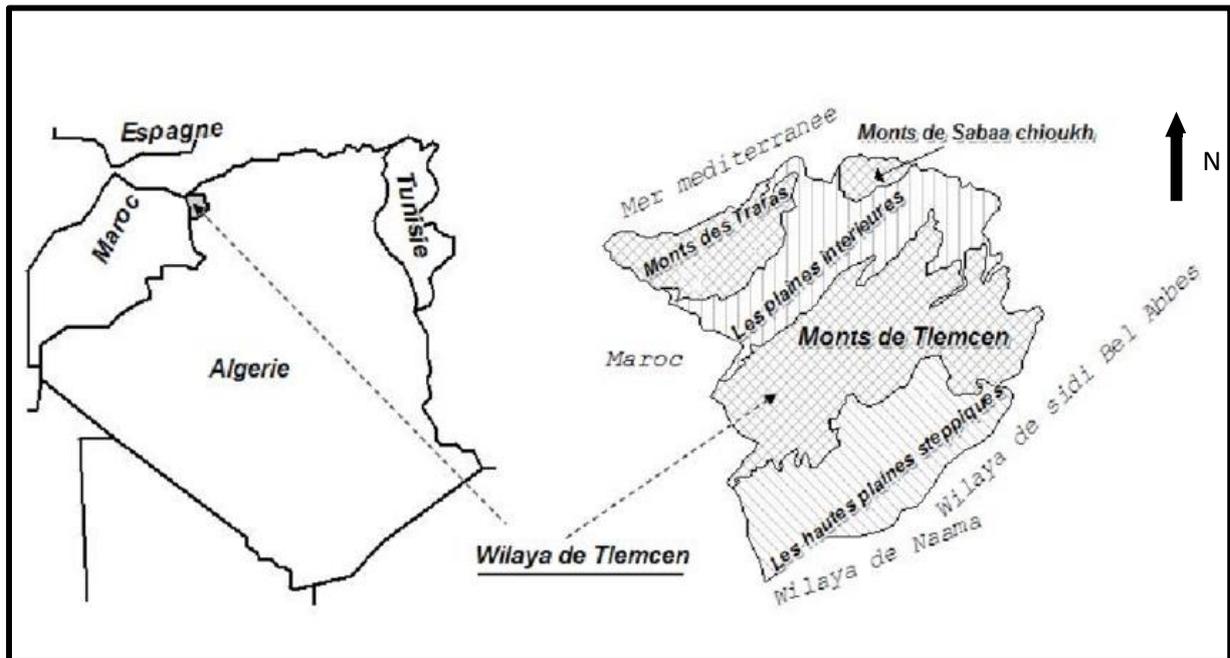
- Au Nord-Ouest, par la mer méditerranéenne ;
- Au Nord-Est par la wilaya d'AïnTémouchent ;
- A l'Ouest, par le **Maroc** ;
- Au Sud, par la **wilaya de Naâma** ;
- A l'Est, par la wilaya de **Sidi-Bel-Abbès** .



**Fig.I.1** : Situation géographique de la wilaya de Tlemcen modifié (Moussouni. A et al,2019).

La wilaya constitue un paysage diversifié, où l'on rencontre quatre ensembles physiques distincts : (Fig.I2).

- La zone nord est constituée des Monts des Traras et de Sebâa Chioukh.
- Un ensemble de plaines agricoles, un tissu urbain dense, un bon réseau routier et une importante activité industrielle.
- Les Monts de Tlemcen, faisant partie de la chaîne de l'Atlas tellien.
- Les steppes de hautes plaines constituent la zone sud.



**Fig.I.2 :** Situation géographique de la wilaya de Tlemcen et les grands ensembles géomorphologiques (BENSOULA.F et al., 2012).

### **I.1.2. Situation géographique de la zone d'étude (source d'El Koudia) :**

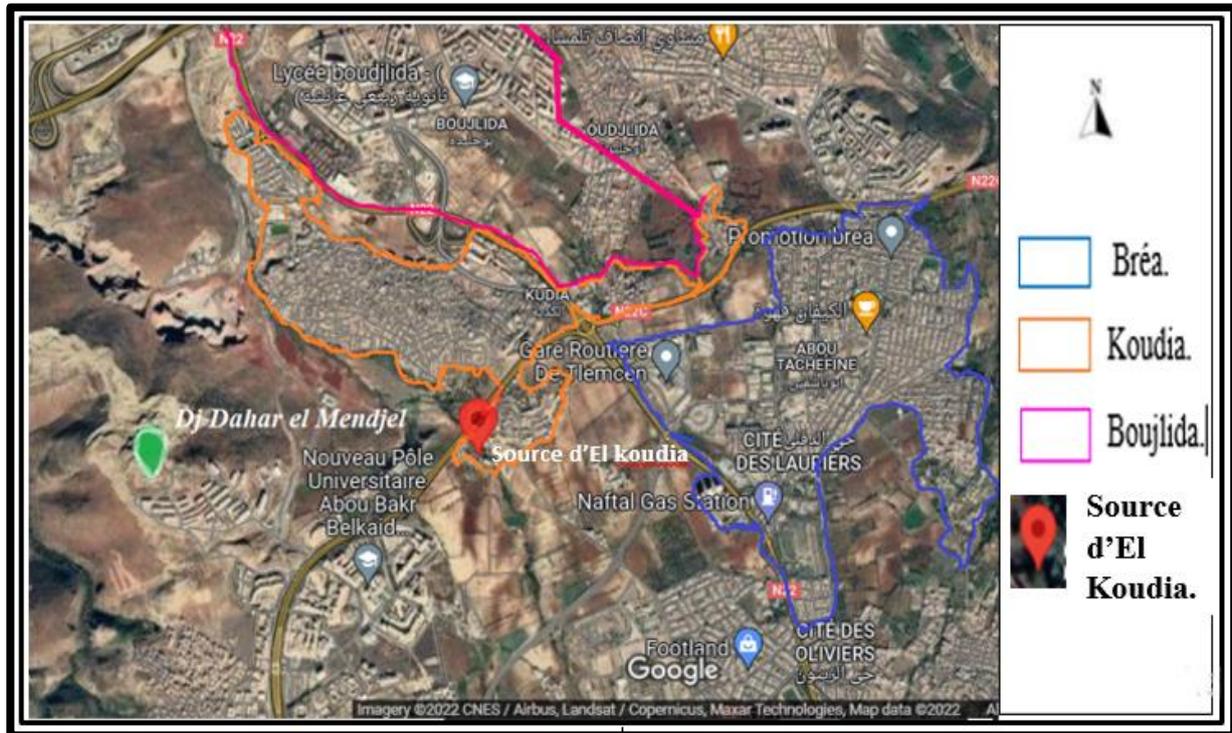
La source est située au Sud de la commune d'El Koudia dans la wilaya de Tlemcen, qui se trouve à 1,5 km du nouveau pôle universitaire Abou Bakr Belkaid. Elle est limitée :

- Au Nord : par Le quartier de Boudjlida.
- Au Sud : par le quartier d'Imama.
- A Est : par le quartier de Bréa.
- A l'Ouest : par les montagnes Dahar Al-Mendjel.

Elle a les coordonnées suivantes :

- X : 1.344092°.
- Y : 34.903857°.

A proximité de la source, nous avons remarqué qu'il y a un cours d'eau nommé « Oued Sennoun ».



**Fig.I.3 :** Situation géographique de la zone d'étude (la source d'El Koudia) (Google Map).



**Photo 01 :** La source d'El Koudia, 2022.

Lors de notre visite du site, et après discussion avec les gens, l'eau de la source est utilisée pour boire et pour l'irrigation. Les consommateurs disent que c'est de l'eau potable. A travers cette étude, nous allons faire la caractérisation physico-chimique de l'eau de cette source et son aptitude à l'AEP et à l'irrigation.

## SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SYNTHÈSE CLIMATIQUE

### I.2 Synthèse climatique :

Le terme climatologie désigne l'étude du climat, ou la succession des conditions météorologiques sur de longues périodes de temps.

Le but de cette étude, est de déterminer le type du climat. Pour cela, nous avons utilisé les données climatologiques recueillies à la station de Tlemcen entre 1995 et 2020.

**Tab.I. 1** : Caractéristiques de la station climatologique de Tlemcen.

Station	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Tlemcen/A.N.R.H	832	34°52'N	01°19'W

### I.2.1 L'étude des paramètres climatologiques :

#### I.2.1.1 Les précipitations :

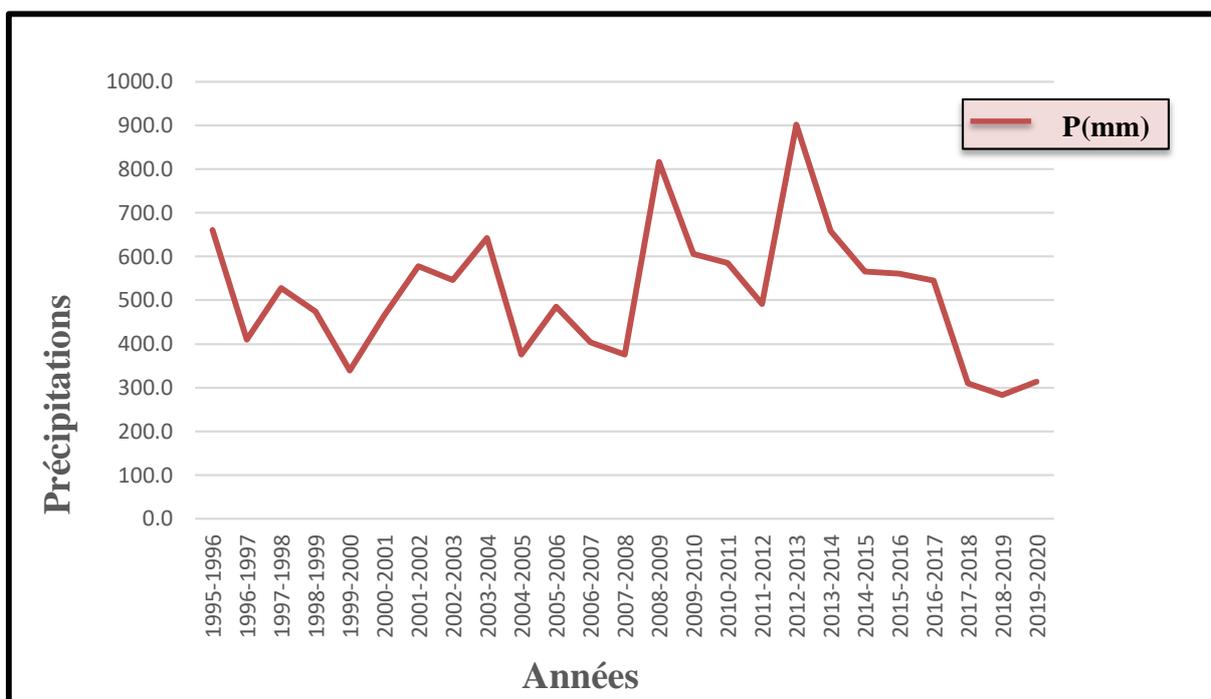
Le mot précipitations signifie, toutes les eaux qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (pluie, averse) que sous forme solide (neige, grêle). Elles sont causées par un changement de température ou de pression.

#### 1. Précipitations moyennes annuelles :

**Tab.I.2** : Précipitations moyennes annuelles /station de Tlemcen (1995-2020).

<b>Année</b>	<b>1995-1996</b>	<b>1996-1997</b>	<b>1997-1998</b>	<b>1998-1999</b>	<b>1999-2000</b>
<b>P (mm)</b>	660,2	409,7	528,2	474,5	338,8
<b>Année</b>	<b>2000-2001</b>	<b>2001-2002</b>	<b>2002-2003</b>	<b>2003-2004</b>	<b>2004-2005</b>
<b>P (mm)</b>	465,1	577,6	546,3	642,3	376,0
<b>Année</b>	<b>2005-2006</b>	<b>2006-2007</b>	<b>2007-2008</b>	<b>2008-2009</b>	<b>2009-2010</b>
<b>P (mm)</b>	485,8	403,8	376,3	817,3	605,9
<b>Année</b>	<b>2010-2011</b>	<b>2011-2012</b>	<b>2012-2013</b>	<b>2013-2014</b>	<b>2014-2015</b>
<b>P (mm)</b>	584,7	492,0	902,4	658,6	565,6
<b>Année</b>	<b>2015-2016</b>	<b>2016-2017</b>	<b>2017-2018</b>	<b>2018-2019</b>	<b>2019-2020</b>
<b>P (mm)</b>	561,4	545,1	310,4	283	314,2

## SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SYNTHESE CLIMATIQUE



**Fig. I.4 :** Variations des précipitations moyennes annuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).

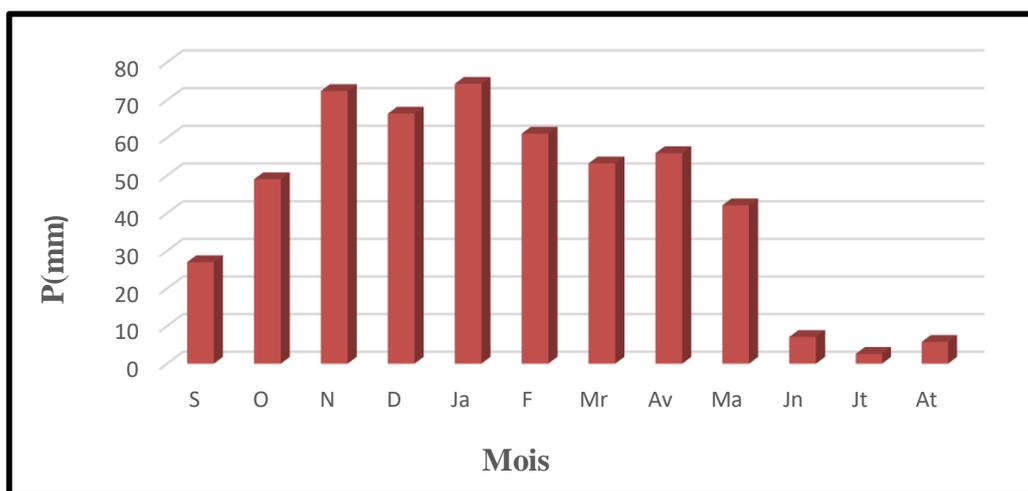
La pluviométrie moyenne annuelle à la station de Tlemcen montre que sa variation est comme suit :

- Le maximum est enregistré en 2012 - 2013 avec 902.4mm.
- Le minimum est enregistré en 2018 - 2019 avec 283mm.
- La moyenne annuelle des précipitations est égale à 517mm.

### 2. Précipitations moyennes mensuelles :

**Tab.I.3 :** Précipitations moyennes mensuelles. Station de Tlemcen (1995-2020).

Mois	S	O	N	D	Ja	F	Mr	Av	Ma	Jn	Jt	At	Total
<b>P(mm)</b>	27	49	72,4	66,4	74,3	61,1	53,2	55,9	42,1	7,1	2,6	5,8	517



**Fig. I.5 :** Diagramme des précipitations moyennes mensuelles Station de Tlemcen (1995-2020).

Le diagramme des précipitations mensuelles (fig.I.5) montre que le mois de janvier est le plus humide (74.3 mm), et le mois de Juillet est le plus sec (2,6 mm).

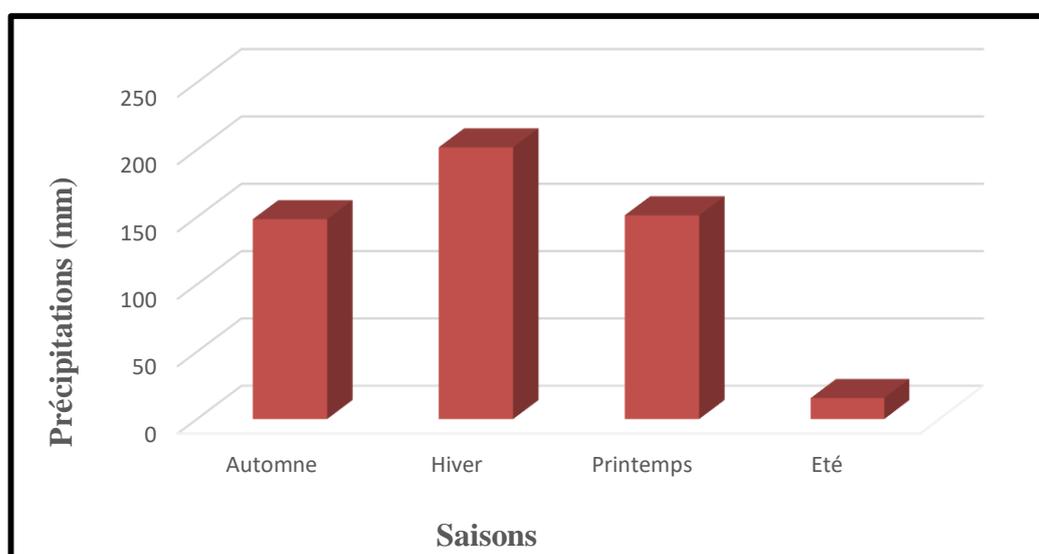
### 3. Les précipitations saisonnières :

Correspondent aux quatre saisons de l'année :

- Automne : Septembre, Octobre, Novembre ;
- Hiver : Décembre, Janvier, Février ;
- Printemps : Mars, Avril, Mai ;
- Été : Juin, Juillet, Août.

**Tab.I.4 :** Précipitations moyennes saisonnières à la station de Tlemcen (1995-2020).

Saison	Automne	Hiver	Printemps	Été
<b>Précipitations (mm)</b>	148.4	201.8	151.3	15.5



**Fig. I.6 :** Diagramme des précipitations saisonnières (Station de Tlemcen).

## SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SYNTHESE CLIMATIQUE

D'après le diagramme de la **fig.I.6** des précipitations saisonnières nous avons remarqué que l'hiver est la saison la plus humide, tandis que l'été est la saison la plus sèche.

### I.2.2 Etude de Températures :

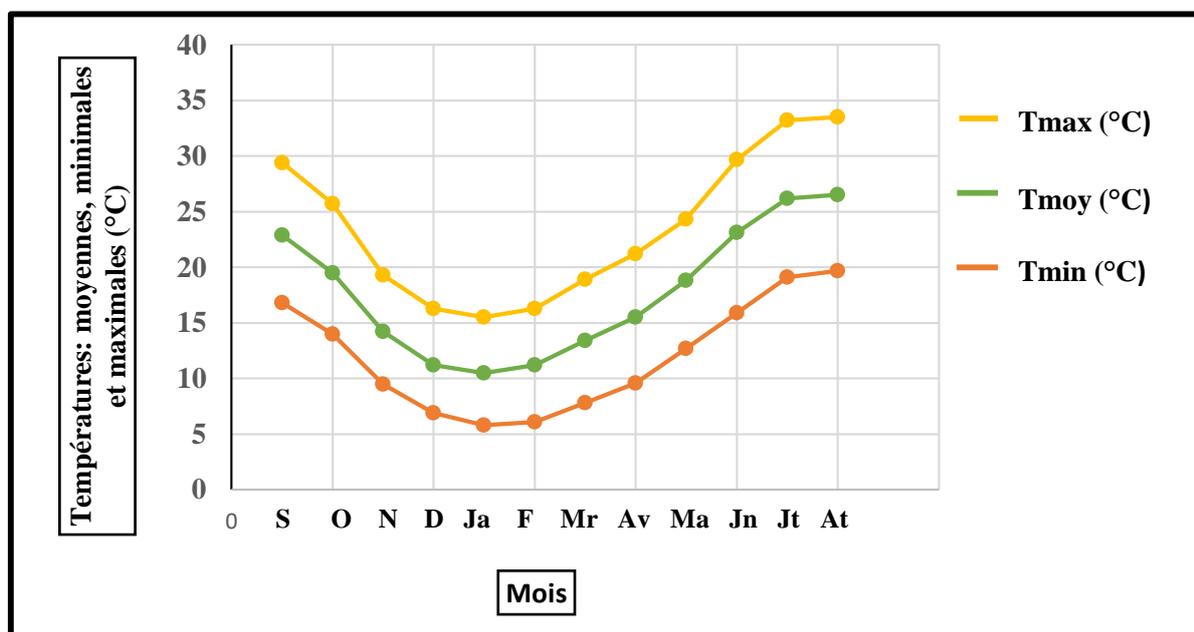
#### 1. Les températures moyennes mensuelles :

Les valeurs des températures moyennes, maximales et minimales de la station de Tlemcen sont données dans le tableau suivant :

**Tab.I.5:** Températures moyennes, maximales et minimales.

Mois	S	O	N	D	Ja	F	Mr	Av	Ma	Jn	Jt	At
<b>Tmax(°C)</b>	29,4	25,7	19,3	16,3	15,5	16,3	18,9	21,2	24,3	29,7	33,2	33,5
<b>Tmin(°C)</b>	16,8	14	9,5	6,9	5,8	6,1	7,8	9,6	12,7	15,9	19,1	19,7
<b>Tmoy(°C)</b>	22,9	19,5	14,2	11,2	10,5	11,2	13,4	15,5	18,8	23,1	26,2	26,5

- Les températures moyennes maximales =23,6 (°C)
- Les températures moyennes minimales =12 (°C)
- Les températures moyennes mensuelles =17,8(°C).



**Fig. I.7 :** Températures moyennes mensuelles, minimales et maximales. Station de Tlemcen (1995-2020).

La figure ci-dessus, nous indique que la température moyenne mensuelle atteint son maximum aux mois de Juillet et Août (26.2 et 26.5°C) où la température moyenne maximale est de 33.2 °C à 33.5°C. Le minimum est enregistré au mois de Janvier avec 10.5°C, ce qui correspond à un minimum de 5.8°C.

# SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SYNTHESE CLIMATIQUE

## I.2.3 L'étude du climat :

Le climat est étudié à partir de deux méthodes :

- La méthode graphique (méthode de visualisation).
- La méthode de calcul des indices climatiques annuels et mensuels.

### 1. Méthodes de visualisation (méthode graphique) :

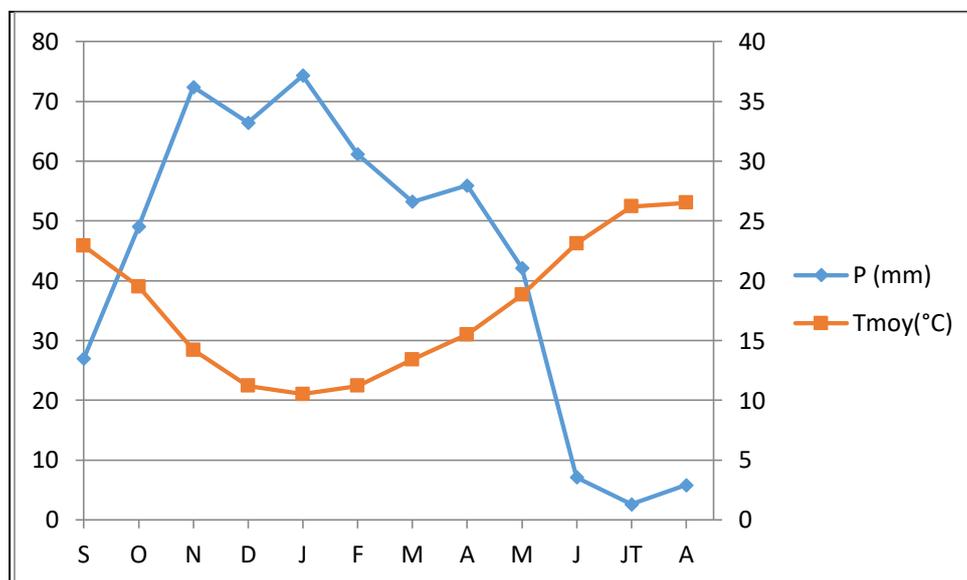
#### 1.1 Les courbes pluvio-thermiques :

D'après Gausson et Bagnouls:

Pendant les mois secs, la courbe de température passe au-dessus de celle de la courbe des précipitations, tandis que pendant les mois humides, la courbe des précipitations passe au-dessus de la courbe de température.  $P=2T$  est utilisé pour estimer la courbe pluvio-thermique, qui a une échelle de précipitation double de celle de la courbe de température.

**Tableau. I.6 :** Précipitations et températures moyennes mensuelles à la station de Tlemcen (1995-2020).

MOIS	S	O	N	D	Ja	F	Mr	Av	Ma	Jn	Jt	At
<b>P(mm)</b>	27	49	72,4	66.4	74.3	61.1	53.2	55.9	42.1	7,1	2,6	5.8
<b>T moy (°C)</b>	22.9	19.5	14.2	11.2	10.5	11.2	13.4	15.5	18.8	23.1	26.2	26.5



**Fig. I.8 :** Diagramme pluvio-thermique Station de Tlemcen (1995-2020).

Le diagramme pluvio-thermique de la station de Tlemcen nous permet de visualiser que la région se caractérise par deux périodes climatiques :

- Une période excédentaire : s'étend du début du mois de septembre jusqu'à la fin du mois de mai.
- Une période déficitaire : occupant les autres mois de l'année.

### 2. Les indices climatiques :

#### 2.1 Indice d'Aridité de DE Martonne :

Il est un indicateur utile pour caractériser le phénomène d'aridité, en se basant sur la distribution des précipitations annuelles et des températures annuelles.

## SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SYNTHESE CLIMATIQUE

### a. Indice d'aridité annuel :

D'après DE Martonne, l'indice d'aridité annuel est défini comme suit :

$$I = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

**P** : La moyenne des précipitations annuelles (mm).

**T** : La température moyenne annuelle (°C).

**I**: indice d'aridité annuel.

**Tab.I.7** : Indice d'aridité de DE Martonne.

<b>P moy (mm)</b>	<b>Tmoy (°C)</b>	<b>I (mm/°C)</b>
517	17.8	18.59

DE Martonne propose la classification suivante :

**Tab.I.8** : Indice d'aridité de DE Martonne.

<b>Valeur de I</b>	<b>Type du climat</b>
<b>20&lt;I&lt;30</b>	Climat tempéré
<b>10&lt;I&lt;20</b>	Climat Semi-aride
<b>7,5&lt;I&lt;10</b>	Climat steppique
<b>5 &lt; I &lt; 7.5</b>	Climat désertique
<b>I&lt;5</b>	Climat hyper aride

La valeur calculée de I est comprise entre 10 et 20 et selon l'abaque de DE Martonne. Pour la région d'étude : P=517mm, T=17.8 C° donc Ia=18,59 (type du climat : semi-aride).

La figure I.9 montre que la région étudiée est caractérisée par un régime semi-aride avec des écoulements temporaires.

## SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SYNTHESE CLIMATIQUE

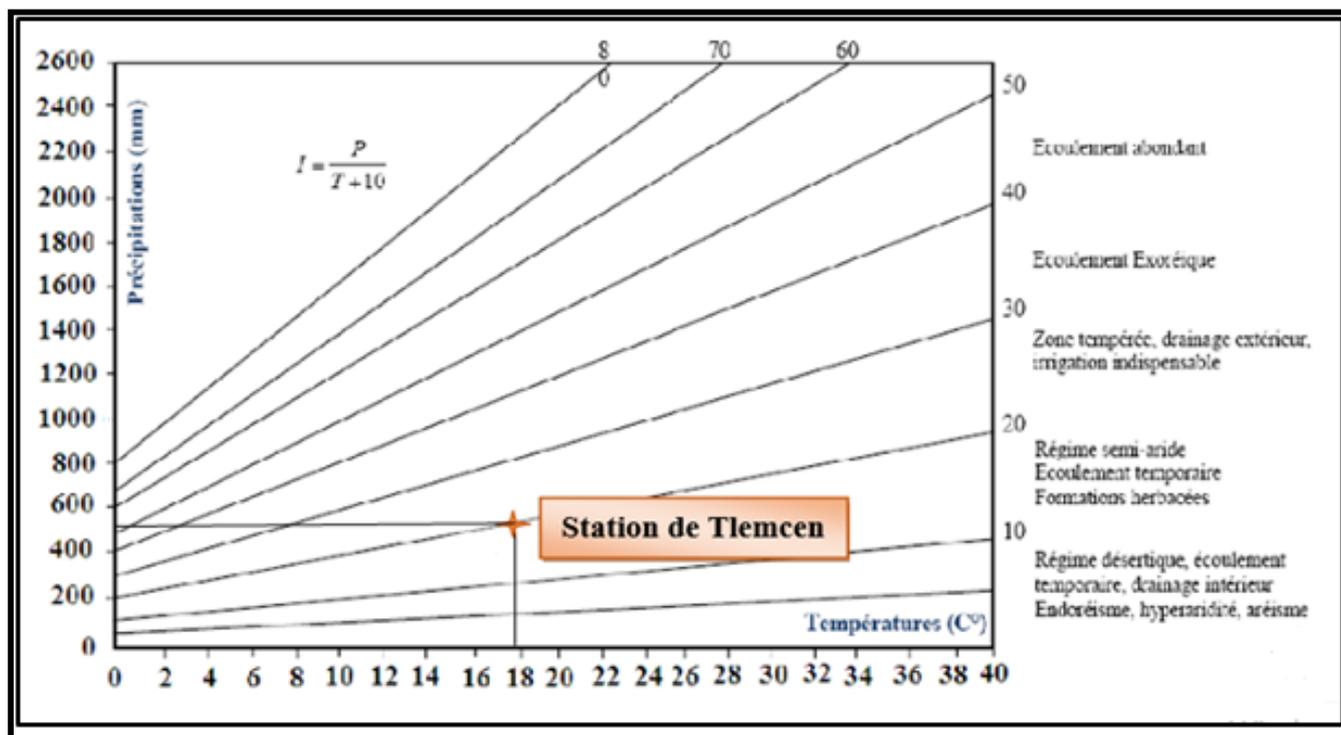


Fig. I.9 : Abaque de l'Indice d'aridité annuel de DE Martonne.

### b. Indice d'aridité mensuel :

Il est donné par la formule suivante :

$$I = \frac{12P}{T+10}$$

**P** : Précipitations moyennes mensuelles (mm) ;

**T** : Température moyenne mensuelle (°C).

**i** : indice d'aridité mensuelle.

Les valeurs des indices d'aridité mensuels de DE Martonne sont reportées dans le tableau suivant :

Tab.I.9 : Résultats des indices d'aridité mensuels de DE Martonne.

Mois	S	O	N	D	J	F	Mr	A	M	J	Jt	A
i	6.49	7.24	8.82	10.07	10.41	10.07	9.12	8.37	7.41	6.41	5.90	5.85
Type du régime	D	D	St	S	S	S	St	St	D	D	D	D

S : Semi-aride ; D : Désertique ; St : steppique.

### I.2.3 Climagramme d'EMBERGER :

Permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée.

Il est déterminé à partir de la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{1000 \times P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)}$$

**P** : Précipitations moyennes annuelles (mm).

## SITUATION GEOGRAPHIQUE ET SYNTHESE CLIMATIQUE

**M** : Moyenne des maximas de la température en (°K) du mois le plus chaud,

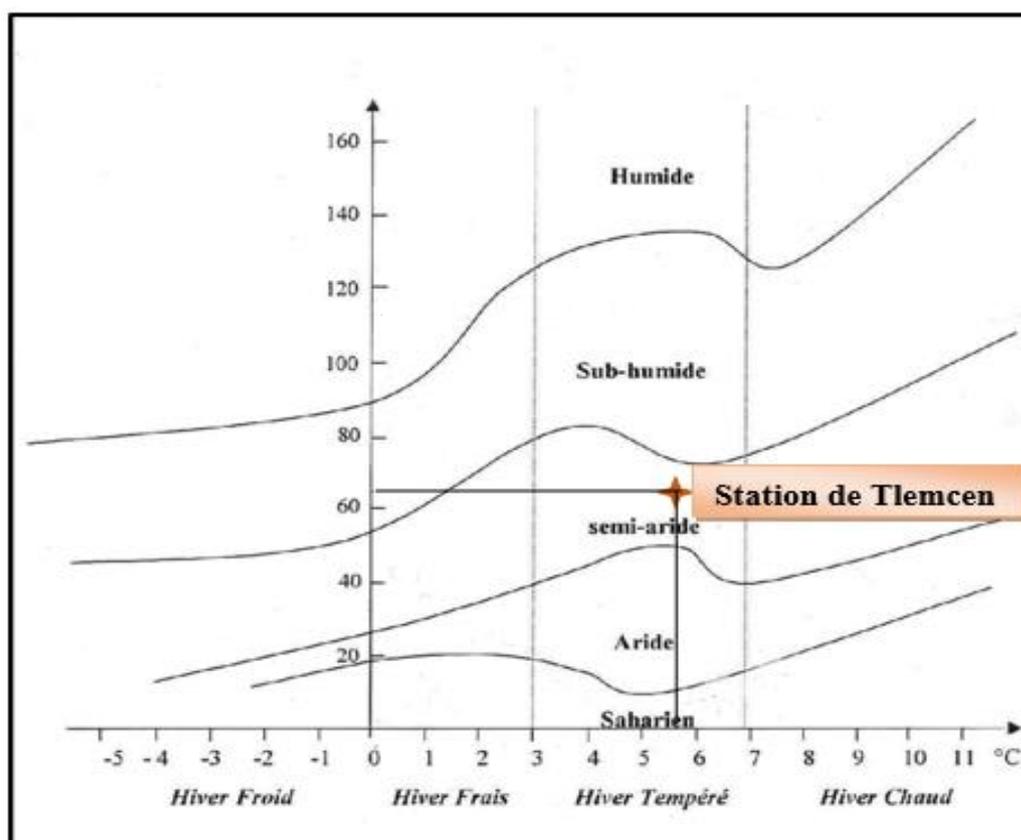
**m** : moyenne des minimas de la température en (°K) du mois le plus froid,

**Q<sub>2</sub>**: Quotient pluvio-thermique d'Emberger.

Avec :  $K = T (°C) + 273$ .

**Tab.I.10** : Indice d'Emberger calculé à la station de Tlemcen.

Station	P (mm)	M (°K)	m (°K)	Q <sub>2</sub>
Tlemcen	517	306	278.8	65



**Fig.I.10** : Climagramme d'Emberger.

### I.3 Conclusion :

La source d'El Koudia est située à environ 1.5 km du pôle universitaire Abou Bekr Belkaid « la Rocade ».

Le climat qui règne dans la région d'étude est semi-aride à hiver tempéré. L'hiver étant la saison la plus humide, et l'été est la saison la plus sèche.

La moyenne annuelle des précipitations est de 517mm. La température moyenne mensuelle est d'environ 17,8 °C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds (26.2°C et 26.5°C), et Janvier est le mois le plus froid (10.5°C).

Le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausson, nous indique qu'il y a une période humide entre le début du mois de Septembre et la fin du mois de Mai et une période sèche caractérisant le reste des mois de l'année.

**CHAPITRE II :  
CADRE GEOLOGIQUE ET  
SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE.**

## II. Cadre Géologique et Synthèse Hydrogéologique :

### II.1 Géologique :

Les formations des Monts de Tlemcen sont principalement d'âge Jurassique supérieur et Crétacé inférieur. Les calcaires et dolomies du Kimméridgien et du Tithonien forment plus de 80% des parties sommitales des plateaux. Au sud et au nord ces formations sont enfouies sous une épaisse couche de sédiments, principalement des dépôts fluviaux éocènes au sud et des dépôts continentaux miocènes et plio-quadernaires au nord.

Les Monts de Tlemcen s'interposent entre :

- Le domaine des nappes du tell, au Nord.
- Le domaine stable des hautes plaines oranaises, au Sud.

#### II.1.1 Description litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen :

##### A. Le Secondaire :

###### 1. Le Trias :

Bien visible au niveau d'Aïn Tellout et du Djebel Larbi, il est constitué par des argiles rouges violacées, emballant des niveaux de gypse fibreux. Le plus souvent, il est accompagné de basaltes, de tufs, de calcaires ou de dolomies. Les argiles à gypse seules affleurent au Djebel El Arbi (Auclairet Biehler, 1967 in Bensaoula .F, 2006).

###### 2. Le Lias et le Dogger :

Le Lias et le Dogger sont des formations qui semblent favorables à deux horsts: Ghar Roubane et Djebel Tenouchfi. Le Lias inférieur et moyen correspond à des calcaires massifs de plus de 200 m d'épaisseur. Ces calcaires massifs et karstifiés sont connus par les filons de Blende et de galène exploités au pied sud-ouest du Koudiat Er Ressass. Au cours du Lias moyen se dépose d'abord la formation des calcaires à silex entrecoupés de passées marneuses, ensuite vient une série renfermant plusieurs niveaux à ammonites du Toarcien moyen au Dogger. Les variations latérales de faciès ont été également observées (Benest et al., 1978) dans le Dogger inférieur de la région du Djebel Tenouchfi et au Sud-Ouest de ce massif en direction de Sidi Aissa (Benest et al., 1978 in Bensaoula .F, 2006).

###### 3. Les argiles de Saida :

Elles constituent la base du Jurassique et apparaissent dans la région de Sabra et plus près du Barrage de Beni-Bahdel. Elles contiennent des dépôts argileux et marneux parfois schisteux, à passées gréseuses. Cette formation peut atteindre 300 à 500m d'épaisseur et est attribuée au Callovo-Oxfordien (Bensaoula .F, 2006).

###### 4. Les grès de Boumediène :

D'âge Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur, il correspond à un ensemble à dominance gréseuse, avec des passées argileuses masquées le plus souvent, par des éboulis ou la végétation. Ces grès à ciment calcaire, se présentent en bancs assez durs, avec des épaisseurs qui peuvent atteindre 500 m. Les grès de Boumediène sont particulièrement évolués dans les forêts de Zarifet et Hafir dans la région sud-ouest de Terni, ainsi qu'au niveau des cascades d'El Ourit au sud du bassin de l'Oued Sikkak (BENEST M., 1985 in Bensaoula .F, 2006).

###### 5. Les calcaires de Zarifet :

Se présentant sous la forme de bancs calcaires séparés par de minces intercalaires de calcaire marneux écaillé, parfois peu fossilisées, Presque partout est marqué d'une base kimméridgien très

## CADRE GEOLOGIQUE ET SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE

---

nette et reposent directement en concordance sur les grès de Boumediène formant les falaises des environs de Tlemcen (**BENEST M., 1985 in Bensaoula. F, 2006**).

### **6. Les dolomies de Tlemcen :**

D'âge Kimméridgien moyen- Kimméridgien supérieur, les dolomites de Tlemcen confèrent aux Monts de Tlemcen un style morphologique bien particulier. L'érosion a souvent donné lieu à des reliefs très pittoresques, comme des ruines de cheminées, au sud de Terni. Il existe de nombreuses cavités remplies de calcite sur ces dolomies cristallines, caractérisées par une patine rousse et une cassure grise parfois rousse. L'épaisseur de ces formations peut atteindre 300 m dans la région de Tlemcen, où elles affleurent autour d'AïnFezza, dans la forêt de Zarifet, le Djebel Tefatisset, la région d'Aïn El Houtz, le plateau de Terni et au Nord de Tlemcen (**Ablaoui. H, 2013**).

### **7. Les calcaires de Stah :**

Ils sont définis par **M. Benest en 1972** comme des micrites en bancs épais, épargnés de la dolomitisation à patine gris clair. Ces calcaires sont dépourvus de passées marneuses (**in Bensaoula .F, 2006**).

### **8. Les marno- calcaires de Raourai :**

Ils sont d'âge Tithonique inférieur, correspondent à des marnes grises, blanchâtres en surface, où s'intercalent de nombreux lits et bancs de calcaires marneux durs. Cette formation est limitée à sa base par les calcaires de Stah et à son sommet par les calcaires du Lato ou par les premières assises des dolomies de Terni. Leur épaisseur est de l'ordre de 100 m. Cette formation affleure particulièrement sur le plateau de Terni, dans le Djebel Lato et à l'Est de AïnFezza (**Ablaoui.H, 2013**).

### **9. Les calcaires du Lato :**

Avec une épaisseur d'environ 50 m en moyenne. Elle débute au-dessus du dernier niveau marneux des marno-calcaires de Raourai et se termine au sommet de lamines noires formant une vire dans toute la région de Seb dou. Ils sont le plus souvent micritiques (**Bensaoula.F, 2006**).

### **10. Les Dolomies de Terni :**

Correspondent à la corniche au-dessus des calcaires du Lato, leur épaisseur est d'environ 50m dans la zone de Seb dou. Dans une grande partie des Monts de Tlemcen, les dolomies de Terni peu fossilifères montrent un faciès constant. Elles ont un aspect ruiniforme et forment les sommets des Djebels Nador et Terni. Ces dolomies sont parfois vacuolaires, parfois massives avec de nombreuses stratifications obliques qui permettent de bien les distinguer des dolomies de Tlemcen. Doumergue (1910) les classe dans le Kimméridgien supérieur tandis que Benest M. (1982) leur donne un âge Tithonique inférieur (**Ablaoui.H, 2013**).

### **11. Les marno-calcaires d'Hariga :**

Attribués au Tithonique moyen, c'est une alternance de calcaires et de marnes, plus ou moins tendres, constituées de micrites bien litées à patine gris-clair. Elles sont bien représentées au Djebel Hariga, avec une épaisseur de 165 m (**Ablaoui.H, 2013**).

### **12. Les marno-calcaires d'ouledMimoun :**

La formation est principalement composée d'une alternance de grès et d'argile au fond et de calcaire et de marne qui peuvent atteindre une épaisseur de 500 à 700 m. (**Ablaoui.H, 2013**). Cette série est attribuée au Tithonique supérieur et Berriasien inférieur.

### **13. Le Crétacé :**

Représenté par la série du Crétacé inférieur. Nous distinguons de bas en haut :

- **Les argiles de Lamoricière :**

## CADRE GEOLOGIQUE ET SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE

---

D'âge Berriasien moyen- Valanginien, il s'agit d'une formation d'argilo-gréseuse, majoritairement calcaire à son sommet et affleurée au niveau de HassiZerga.

- **Les grès de Berthelot :**

D'âge Hauterivien, ces grès sont caractérisés par une récurrence de la smectite mais surtout par la présence du chlorite (10 m à 15 m). La base présente des stratifications obliques marquées par un banc de dolomie pulvérulente.

- **Les calcaires de Zigyne :**

D'âge Barrémien – Aptien, cette formation représente la transition entre le Crétacé et l'Eocène (**Benest.M&Bensaoula.F, 1994**).

### **B. Le Tertiaire :**

Représenté par des dépôts essentiellement marins. Bas en haut, on peut voir les formations suivantes :

#### **1. L'Eocène :**

Ensemble gréseux, avec passage de bancs en poudingues. Dans des endroits, il affleure sur une très faible surface. Parfois, le massif est constitué de grès siliceux jaunes à rougeâtres, assez friables à ciment argileux, alternant avec des marnes argileuses verdâtres. Ces alternances d'une puissance de 100 m à 150 m ont été attribuées à l'Eocène supérieur (**Ablaoui.H, 2013**).

#### **2. Le Miocène :**

- **Inférieur :**

Débuté par une assise de poudingues à éléments calcaires dolomitiques à ciment calcaire-gréseux très durs, à blocs bien roulés hétérométriques et polygéniques pouvant atteindre 20 m de puissance. Ce faciès, très résistants et fissurés, montre un grano-classement normal avec des intercalations marneuses à la base. La partie supérieure est composée d'argiles marneuses verdâtre, intercalées des bancs décimétriques de grès ferrugineux, formant un ensemble pouvant atteindre plus de 100 m d'épaisseur (Benest.M et Bensaoula.F, 1994).

- **Moyen (Serravallien) :**

Il est en discordance sur le Miocène inférieur, il est déformé et partiellement érodé. Il est composé d'une épaisse série de marnes grises ou bleutées qui, après altération, se sont transformés en ocre. Au sein de cette série, pouvant atteindre 300 m d'épaisseur dans la vallée de l'Oued Isser, s'intercalent de nombreux bancs décimétriques de grès jaunes, plus fréquents au sommet (**Ablaoui. H, 2013**).

- **Supérieur (Tortonien) :**

Représenté par des Grès durs en jaune d'or ou citron à passes marneuses hachées, peu consolidées, mesurant entre 20 m et 30 m de largeur. Ces grés ont été datés de l'Helvétien par Doumergue (1910), mais l'analyse micropaléontologique montre qu'elles sont à l'âge Tortonien supérieur (**HAYANE.SM, 1983**).

### **C. Le Plio-Quaternaire :**

C'est un complexe de dépôts discontinus, formés d'éléments hétérométriques et hétérogènes.

On y rencontre les faciès suivants :

- Des travertins villafranchiens fortement consolidés, situés en bordure des Monts de Tlemcen et des calcaires lacustres.

- Un complexe de sédiments Plio-villafranchiens, dont la bordure constituée de massifs secondaires est soulignée par des éboulis de piémonts plus ou moins encroûtés et remaniés, d'épaisseur très variable, mais toujours assez faible.

## CADRE GEOLOGIQUE ET SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE

- Des marnes avec peu ou pas de galets, parfois très épaisses.
- Des anciennes alluvions, allant des marnes alluvionnaires verdâtres aux galets, en passant par les limons et les graviers (Ablaoui.H, 2013).

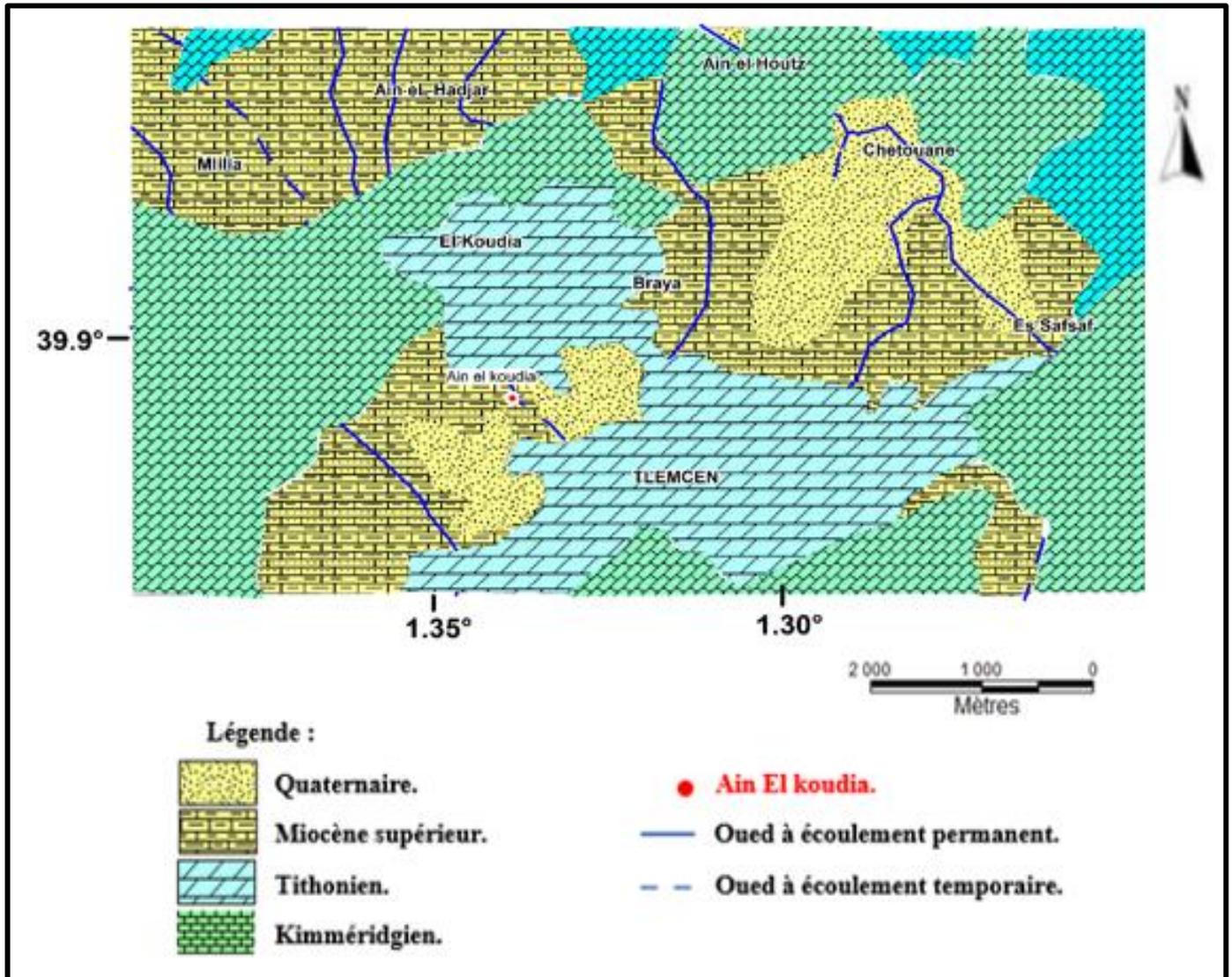


Fig.II.1 : Extrait de carte géologique de Tlemcen au 1/50000 (Doumergue, 1922).

# CADRE GEOLOGIQUE ET SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE

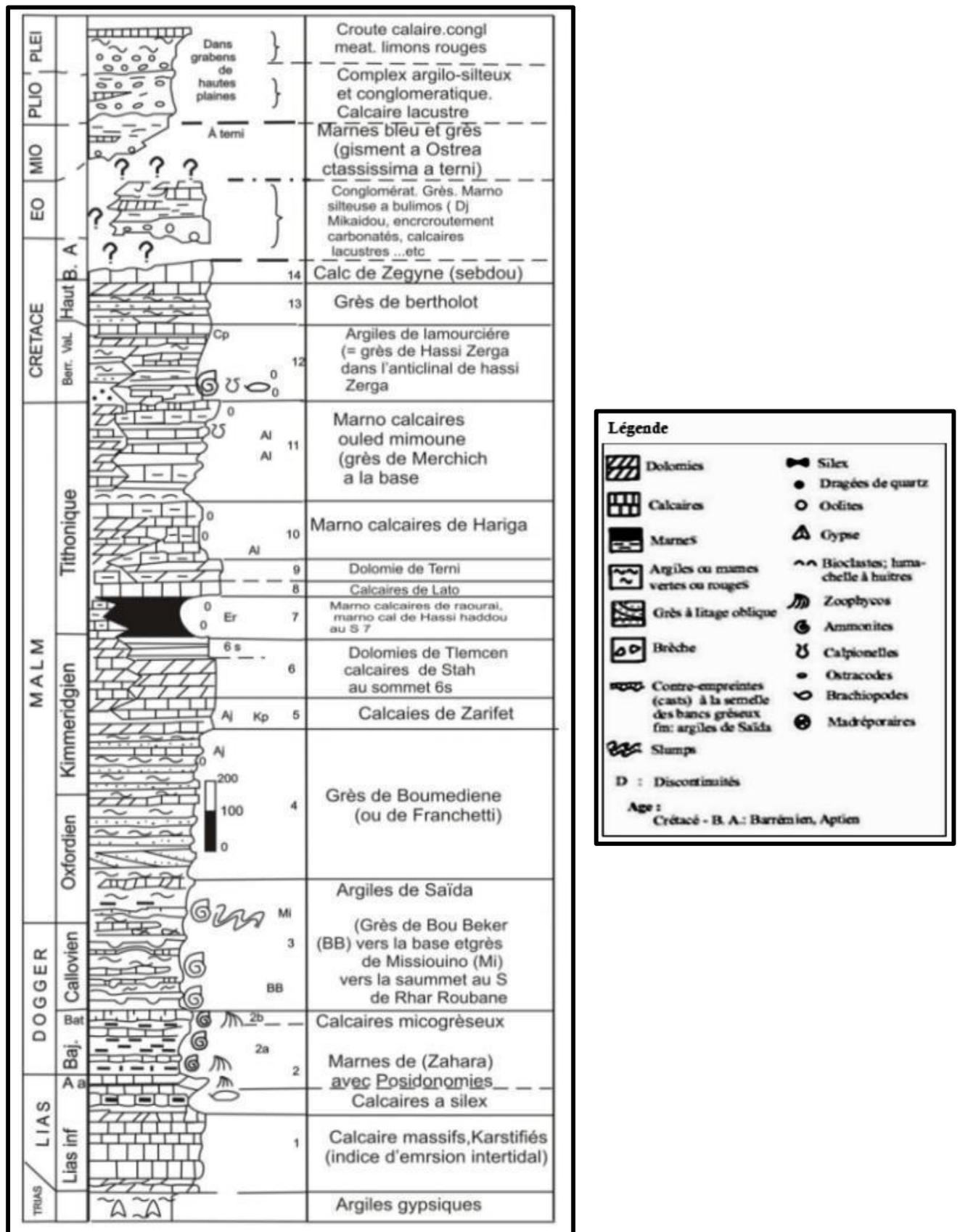


Fig.II.2 : Colonne litho-stratigraphique des Monts de Tlemcen jusqu'aux les hautes plaines ( Benest&Bensaleh ,1999).

## II.1.2 Analyse structurale :

Les grandes fractures, leur direction générale est orientée WSW-ENE (direction tellienne) (Auclair & Biehler, 1962 in Keddah.K et Medjahedi.N, 2018). Le style généralisé de la tectonique est cassant, avec quelques déformations de nature synclinale et anticlinale. Les failles sont sub-verticales et résultent de déformations du socle. Elles limitent des horsts et des grabens, orientés N50°E à N70°E (Keddah.K et Medjahedi.N, 2018).

### II.1.2.1 Principales phases tectoniques :

C'est surtout la tectogenèse tertiaire et quaternaire qui a le plus conditionné l'évolution morpho-structurale de l'avant-pays tlemcenien (Benest, 1982 et 1985). Cinq phases principales sont envisagées :

#### 1. Une phase distensive Eo-crétacée :

Durant le Jurassique supérieur et l'Eo-Crétacé, la subsidence a été contrôlée par le jeu ou le rejeu des grands accidents SO-NE et subméridiens, hérités de l'orogénèse hercynienne (Benest, 1981). P.Guardia (1975) a également signalé dans les Monts de Traras, l'existence de mouvements syn-sédimentaires qu'il a rapporté à une tectogenèse pré-atlasique (Bensaoula. F,2006).

#### 2. Une phase atlasique :

Cette phase correspondrait sensiblement aux mouvements mis en évidence par Guardia dans les Monts des Traras et qui se produisent à partir du Sénonien. Étudiée dans les Monts de Tlemcen et de Daia, cette phase englobe :

- Des mouvements compressifs donnant des plis d'orientation moyenne Est-Ouest à grand rayon de courbure, tel qu'au niveau du Djebel El Arbi dans la région de Sebdu.
- Des mouvements distensifs qui sont contrôlés par le rejeu des grands accidents du socle. La fracturation s'est traduite par un système de failles conjuguées N55°E et N140°E, responsables de la mise en place des principales structures.
- Une importante phase de compression N-S à NO-SE avec un paroxysme miocène : Par comparaison avec la région des Traras, cette phase aurait débuté avec ou avant la mise en place des nappes et serait anté-messinienne, (Lucas.G 1942, Guardia. P, 1975), selon Benest (1974), cette phase serait l'origine des grandes structures coulissantes et chevauchantes (Bensaoula.F,2006).

#### 3. Une phase à dominante distensive :

Cette phase est en continuité avec la précédente, elle a contribué à la surrection de la plupart des reliefs actuels. Elle a également entraîné la régression pliocène, notamment dans la zone de Terni, antérieurement atteinte par la transgression du Miocène supérieur (Doumergue, 1912) ou du Mio-Pliocène. Le rejeu des failles préexistantes a généralement accentué le découpage en Horst et Grabens (Bensaoula. F ,2006).

#### 4. Une phase récente :

Cette phase se traduit par des mouvements syn-sédimentaires provoquant le jeu des décrochements dextres associés à des déformations (Thomas.G,1985). Ces déformations n'ont pas l'ampleur des phases précédentes (Bensaoula. F ,2006).

#### 5. Déformations actuelles :

Elles sont traduites par l'évolution morpho-métrique et le jeu des failles actives.

## II.1.2.2 Les unités structurales :

Les Monts de Tlemcen sont composés de plusieurs unités structurales (Elmi S., 1970) :

### 1. Zone synclinale de Terni :

Elle est limitée par deux accidents de direction moyenne N 70° E, le plateau de Terni se présente comme un synclinal effondré, dont le flanc sud est plus redressé que le flanc nord. Cette dépression formée au sein de la série jurassique, s'enfoncé légèrement vers l'Est. La majorité des contacts entre les formations dans cette zone se font par des failles.

### 2. Zone effondrée de Tlemcen :

Celle-ci fait partie du même ensemble effondré que la plaine de Maghnia, dont elle est séparée par le Djebel Tefatisset. Elle est limitée au sud et au nord par les failles passant de Bréa et de Chetouane, qui se rapportent aux panneaux du Djebel Tefatisset et d'Ain El Houtz (Ablaoui.H, 2013).

### 3. Zone haute des Djebels Tefatisset et Ain El Houtz :

Elle est délimitée au sud par une faille et au nord par une série de failles de même direction.

### 4. Zone d'Er-Ramlya :

Est un dôme affecté par une tectonique cassante et découpé en de nombreux panneaux soulignés par des accidents, le plus souvent rectilignes.

## II.2 Synthèse Hydrogéologique :

Tlemcen est une ville riche par ses ressources en eau souterraines, elle est appelée le château d'eau naturel de l'Ouest de l'Algérie.

Les Monts de Tlemcen et leurs piémonts nord sont connus par leurs aquifères à potentiel hydrique ; Correspondent à un vaste horst où affleurent principalement les formations carbonatées et Karstifiées du Jurassique supérieur et du Crétacé basal.

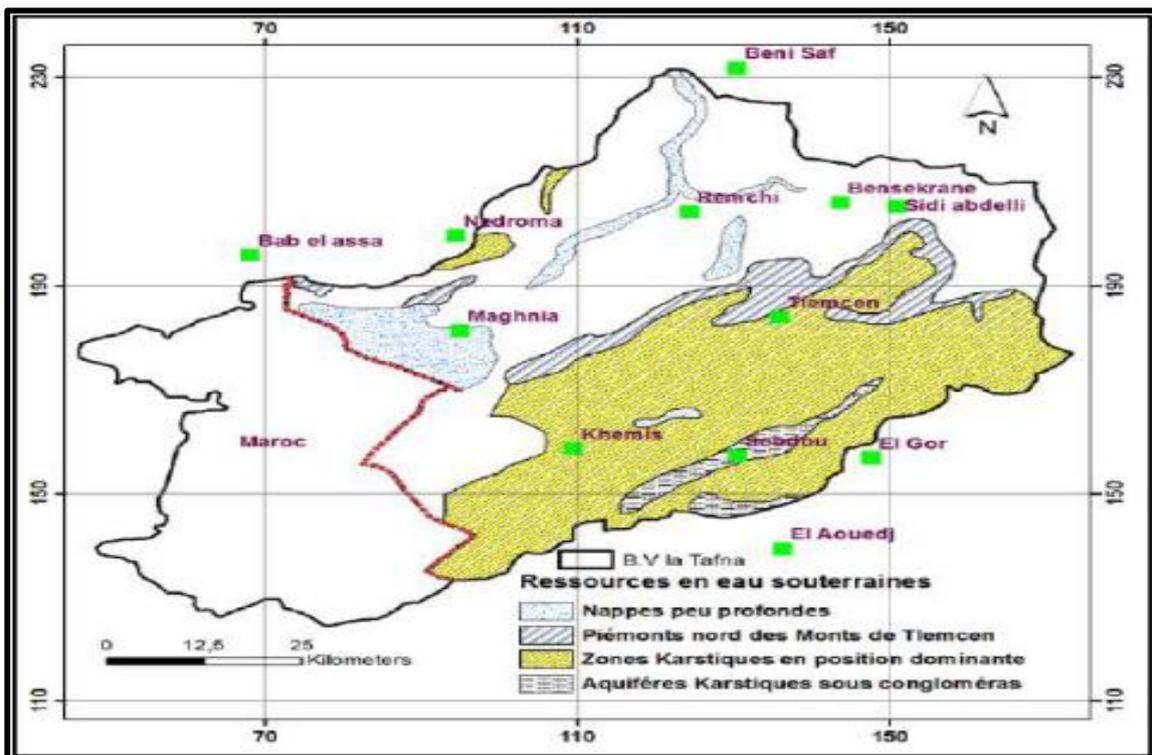


Fig.II.3 : Zones aquifères de Tlemcen

(D'après Collignon B., 1984 ; in Bemoussat A., 2012).

## II.2.1 Caractéristiques hydrogéologiques des formations lithologiques :

### A. Les formations calcaires du Jurassique :

Ils peuvent être des aquifères s'ils sont fissurés et karstifiés. Leur productivité dépend également de la nature lithologique des formations intercalées. (Keddah K et Médjahdi N, 2018).

### B. Les formations du Jurassique :

Représentées par les niveaux carbonatés, fissurés et karstifiés, les grès de Boumediène présentent une perméabilité qui dépend de la nature géologique des formations intercalées, de leurs épaisseurs et du degré de la fissuration. Les grès et les calcaires fissurés sont perméables.

### C. Les formations du Crétacé :

- Les niveaux calcaires et gréseux sont perméables, lorsqu'ils sont fissurés.
- Les niveaux marneux et argileux sont imperméables.

### D. Les formations du Mio-Plio-Quaternaire :

La perméabilité des formations alluvionnaires et gréseuses dépend du degré de cimentation ainsi que de leur teneur en éléments fins.

#### 1. Les formations calcaires du Jurassique :

S'ils sont fracturés et karstiques, il peut s'agir d'aquifères. Leur productivité dépend aussi de la nature lithologique des formations intercalées.

#### 2. Les dolomies de Tlemcen :

Ce sont des dolomies cristallines en bancs massifs, présentant une forte perméabilité de fissures et de chenaux, Les dolomies de Tlemcen ont des propriétés d'emménagement intéressantes, plutôt fortes pour des roches karstiques, d'après les études antérieures faites sur la région de Tlemcen (Collignon, Bensaoula...). Ceci apparaît bien par la localisation des sources, presque toujours situées aux points bas de ces affleurements. Elles représentent donc le plus grand aquifère qui forme un ensemble perméable. Cette description est confirmée par de nombreux forages, réalisés à travers les Monts de Tlemcen (Bensaoula.F,2006).

#### 3. Les dolomies de Terni :

Les dolomies de Terni sont moins karstifiées que les dolomies de Tlemcen. Les caractéristiques hydrogéologiques des dolomies de Terni sont comparables à celles des dolomies de Tlemcen (Bensaoula F,2006), puisque qu'elles sont favorisées par l'existence des fissures et des failles (faille de Terni), elles sont irrégulièrement dolomitisées, les forages qui les recoupent montrent une prédominance dolomitique. Collignon. B ,1986 dans sa thèse sur les Monts de Tlemcen fait remarquer que les niveaux calcaires sont plus productifs que les niveaux dolomitiques, en raison de leur porosité de fissures et de chenaux.

#### 4. Les grès de Boumediène :

Ces grès ne sont guère poreux et leur perméabilité d'interstices est toujours faible à l'exception de deux situations bien particulières :

- Ces roches peuvent localement constituer un aquifère intéressant du fait de la présence de bancs calcaires ou de la présence de drains.
- La présence de diaclases et de fissures qui donnent à ces grès une certaine perméabilité. Les bancs marneux intercalés dans les niveaux gréseux permettent à l'ensemble de jouer un rôle d'écran étanche qui sert de mur à l'aquifère des dolomies du Jurassique.

## 5. Les marno-calcaires de Raouraï, d'Hariga et de Lamoricière :

Ils sont relativement imperméables. Si les couches calcaires permettent une perméabilité dans le sens horizontal, alors l'ensemble est imperméable dans le sens vertical.

## 6. Les grès de Merchiche :

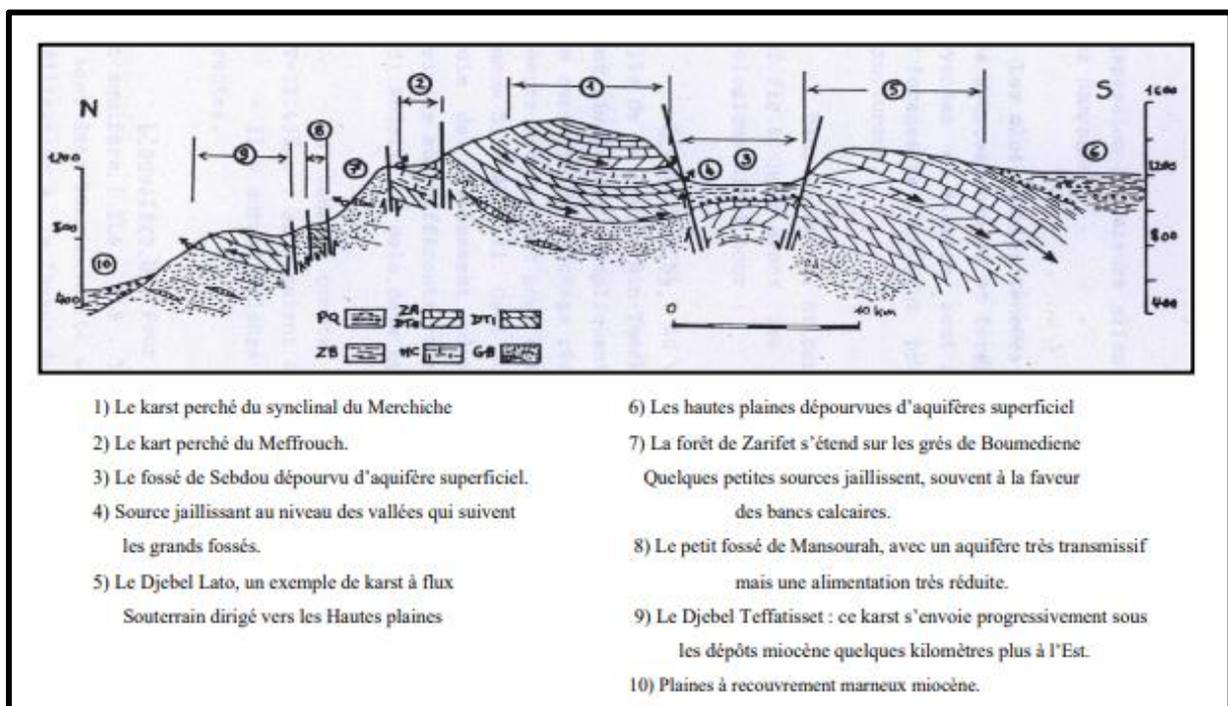
Leur vaste territoire est délimité par les fosses de Sebdou et de Tafna. Cependant, en raison de leur faible extension et de leur épaisseur réduite, ils présentent un mélange de perméabilité qui les empêche de former des aquifères importants.

## 7. Les conglomérats du Miocène inférieur :

Les conglomérats sont très fissurés. Ils se caractérisent par leur manque de réserves, du fait de leur faible surface d'affleurement (**Bensaoula.F,2006**).

## 8. Les grès tortoniens :

C'est une formation très répandue dans le grand Tlemcen, son épaisseur est notable près des reliefs. Leur perméabilité dépend des formations intercalées, du degré de fissuration et de leur épaisseur, par endroits.



**Fig.II.4 :** Coupe Transversale des Monts de Tlemcen, illustrant les principaux types d'aquifères de la région (COLLIGNON, 1986).

### II.3 Conclusion :

Les Monts de Tlemcen forment une structure régulière composée essentiellement de terrains cénozoïques et mésozoïques qui forment une ossature avec des formations plio-quadernaires. L'analyse litho- stratigraphique des différentes formations nous a permis de mettre en évidence leurs diversités ; ce sont surtout des calcaires, des grès, des grès-calcaires, des dolomies... D'autre part, l'analyse structurale de la région montre la présence de deux systèmes de décrochements, avec cinq phases tectoniques, contrôlées par le jeu et le rejeu d'accidents distensifs SW-NE à WSW-ENE, parfois compressifs. La région de Tlemcen se caractérise en général par un style tectonique de type cassant ce qui a favorisé le développement de la karstification et l'émergence de plusieurs sources.

## **CADRE GEOLOGIQUE ET SYNTHESE HYDROGEOLOGIQUE**

---

Les formations qui peuvent constituer un intérêt hydrogéologique dans le secteur d'étude sont présentées par celles du Plio-Quaternaire, les dolomies et les calcaires du Jurassique, les grès lorsqu'ils sont fissurés.

**CHAPITRE III :  
CADRE HYDROGEOCHIMIQUE**

## III.1 Introduction :

L'hydrochimie a un rôle important en hydrogéologie, car la concentration des éléments chimiques dans l'eau dépend de son origine, de son âge, des formations géologiques traversées et du temps passé dans ces formations. Son objectif principal est de comprendre l'interaction entre l'eau et les formations géologiques, ainsi que de suivre l'évolution temporelle des différents éléments dissous, d'évaluer leur origine et de déterminer leur qualité, en termes de potabilité et irrigation.

Le but de cette partie est de déterminer l'origine de la minéralisation des eaux de la source d'El Koudia, les faciès chimiques des eaux et leur qualité, vis-à-vis de la consommation humaine et de l'irrigation et ensuite une analyse statistique sera faite pour expliquer la minéralisation des eaux. Pour la réalisation de cette étude, nous avons utilisé les analyses physico-chimiques effectuées par l'A.D.E, pour la période allant du 08/02/99 à 01/07/2000.

## III.2 Balance ionique :

La balance ionique permet de contrôler le pourcentage d'erreur, en utilisant la formule suivante :

$$BI = \frac{|\Sigma r + - \Sigma r - |}{|\Sigma r + + \Sigma r - |} \times 100(\%)$$

Avec :

$\Sigma r+$  : Somme des quantités en réactions des cations en meq/L.

$\Sigma r-$  : Somme des quantités en réactions des anions en meq/L.

**BI** : Balance Ionique, en %

**Tab.III.1** : Pourcentage de la Balance ionique.

BI (%)	Classification
BI ≤ 2	Bonne analyse
2 < BI < 5	Analyse acceptable
BI > 5	Mauvaise analyse

La balance ionique calculée pour les eaux de la source d'Ain El Koudia sont bonnes à acceptables. Les résultats obtenus sont portés dans le tableau n°03, en annexes.

## III.3 Etude des paramètres physico-chimiques :

### - Les paramètres physiques :

- Potentiel d'Hydrogène (pH).
- Conductivité électrique (CE).
- Minéralisation.
- Dureté totale (TH).
- Résidu sec.

### - Les paramètres chimiques :

Les éléments majeurs :

- Cations :  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ .
- Anions:  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^-$ ,  $NO_3^-$ .

# CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

## - Interprétations et discussions des résultats :

### III.3.1 Les paramètres physiques :

#### 1. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Le pH est la concentration en ions dans l'eau, qui traduit l'équilibre entre l'acide et se mesure en calculant la différence de potentiel entre une électrode de verre et une électrode de référence (Wikipédia).

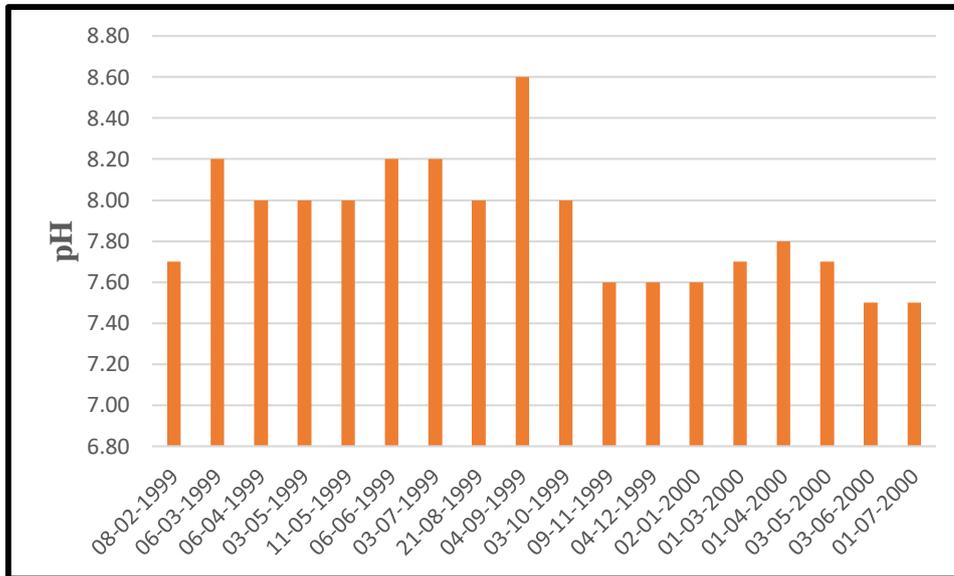


Fig.III.1 : Diagramme du pH.

Les valeurs des pH de la source étudiée varient entre 7.5 en (03/06/2000 et 01/07/2000) et 8.6 en 04/09/1999. Ces eaux sont conformes à la norme algérienne ( $\geq 6,5$  et  $\leq 9$ ).

#### 2. Conductivité électrique (CE) :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. (RODIER J, 2005) Elle est également en fonction de la température de l'eau, et proportionnelle à la minéralisation. (MENS et DEROUANE, 2000 in DERROUCHE. S & LAHOUEL. Z ,2021).

Tab.III.2 : Relation entre la conductivité et la minéralisation (Rodier J., 2009).

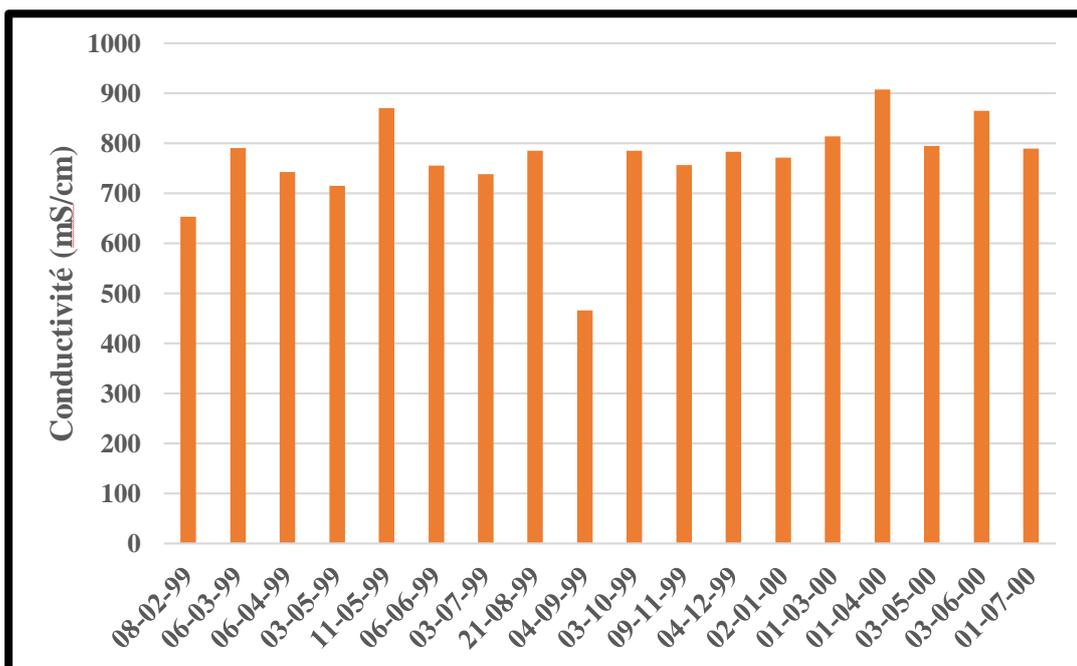
Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Minéralisation (mg/L)
Conductivité < 100	Très faible
100 < Conductivité < 200	Faible
200 < Conductivité < 333	moyenne
333 < Conductivité < 666	Moyenne à accentuée
666 < Conductivité < 1000	importante
Conductivité > 1000	Elevée

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

Le tableau suivant résume les valeurs de la conductivité et la classification des minéralisations dans notre secteur étudié :

**Tab.III.3 :** Conductivités et caractérisation de la minéralisation des eaux de la source.

DATE	Conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Minéralisation
08-02-1999	653	Moyenne à accentuée
04-09-1999	466	
06-03-1999	790	
06-04-1999	742	
03-05-1999	715	
11-05-1999	870	
06-06-1999	755	
03-07-1999	738	
21-08-1999	785	
03-10-1999	785	
09-11-1999	756	Importante
04-12-1999	783	
02-01-2000	771	
01-03-2000	814	
01-04-2000	907	
03-05-2000	795	
03-06-2000	865	
01-07-2000	789	



**Fig.III.2 :** Diagramme des conductivités électriques.

Les valeurs des conductivités de la source étudiée, oscillent entre 466  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 04/09/1999 et 907  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 01/04/2000. Ces valeurs sont inférieures à la norme (2800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ).

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

---

### 3. Minéralisation (mg/L) :

La minéralisation de l'eau est en fonction de la géologie des terrains traversés, d'une façon générale, elle est plus élevée dans les eaux souterraines que dans les eaux superficielles (**Rodier J., 2005 in KEDDAH Karima & MEDJAHDI Naïma, 2018**).

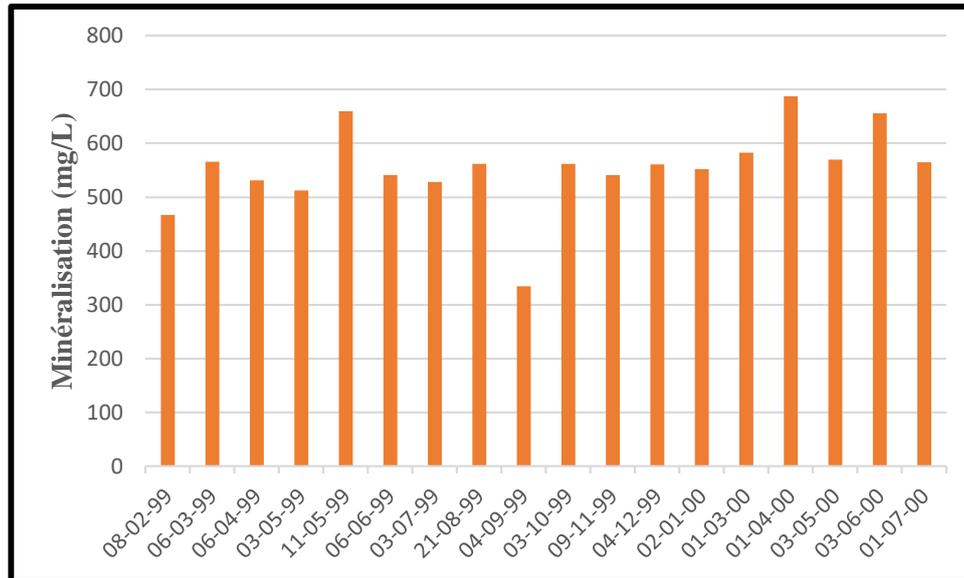
Toutefois, il existe une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité (**Rodier J., 2009**).

**Tab.III.4** : Détermination de la minéralisation à partir de la conductivité (Rodier J., 2009).

Conductivité ( $\mu\text{s/cm}$ )	Minéralisation (mg/L)
Conductivités < 50	1,365079 x conductivités
50 < Conductivités < 166	0,947658 x conductivités
166 < Conductivités < 333	0,769574 x conductivités
333 < Conductivités < 833	0,715920 x conductivités
833 < Conductivités < 10000	0,758544 x conductivités
Conductivités > 10000	0,850432 x conductivités

**Tab.III.5** : Minéralisation des eaux étudiées.

Dates	Minéralisation (mg/L)
08-02-1999	467
06-03-1999	566
06-04-1999	531
03-05-1999	512
11-05-1999	660
06-06-1999	541
03-07-1999	528
21-08-1999	562
04-09-1999	334
03-10-1999	562
09-11-1999	541
04-12-1999	561
02-01-2000	552
01-03-2000	583
01-04-2000	688
03-05-2000	570
03-06-2000	656
01-07-2000	565



**Fig.III.3 :** Diagramme de la minéralisation.

La fig.III.3 montre la variation des minéralisations des eaux de la source étudiée, nous remarquons que la valeur maximale est de 688mg/L en 01-04-2000 et la valeur minimale est de 334mg/L en 04-09-1999.

#### 4. Dureté totale (TH) :

La dureté ou titre hydrotimétrique d'une eau correspond à la somme des concentrations en cations métalliques, à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène.

Dans la plupart des cas, la dureté est due à la présence des ions calcium et de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium (**Rodier J., 2009**)

La dureté est encore appelée dureté calcique et magnésienne. Elle s'exprime en milliéquivalent de concentration en CaCO<sub>3</sub> (**Rodier J., 2009**). Elle est aussi très souvent donnée en degrés français. 1°F correspond à 5 meq/L.

$$TH = TH Ca^{2+} + TH Mg^{2+}$$

On peut classer les eaux en fonction de leur dureté suivant le tableau ci-dessous :

**Tableau III.6 :** Classification des eaux en fonction de la dureté.

TH(°F)	0-5	5-15	15-25	25-35	≥35
Eau	Trèsdouce	Douce	Moyennement dure	Dure	Trèsdure

Les valeurs de la dureté totale des eaux analysées sont présentées dans le tableau III.7.

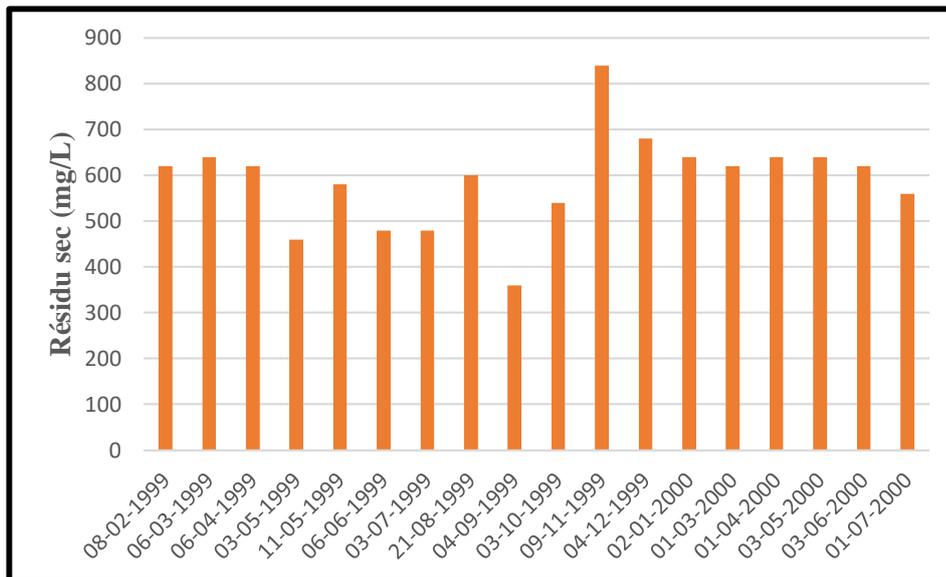
**Tableau III.7 :** Dureté totale des eaux de la source étudiée.

Dates	Dureté totale (TH)°F	Dureté totale (TH) mg/L en CaCO <sub>3</sub>	Classement
08-02-1999	41.25	412.5	Très dure
06-03-1999	39	390	Très dure
06-04-1999	32.9	329	Dure
03-05-1999	31.75	317.5	Dure
11-05-1999	36.7	367	Très dure
06-06-1999	33.7	337	Dure
03-07-1999	31.4	314	Dure
21-08-1999	31.55	315.5	Dure
04-09-1999	22.85	228.5	Moyennement dure
03-10-1999	32.45	324.5	Dure
09-11-1999	42.45	424.5	Très dure
04-12-1999	189.7	1897	Très dure
02-01-2000	179.4	1794	Très dure
01-03-2000	205.95	2059.5	Très dure
01-04-2000	206.4	2064	Très dure
03-05-2000	226.45	2264.5	Très dure
03-06-2000	169.7	1697	Très dure
01-07-2000	200.65	2006.5	Très dure

Les valeurs de la dureté totale des eaux de la source sont comprises entre 228.5 mg/L en 04-09-1999 et 2264.5mg/L en 03-05-2000 en CaCO<sub>3</sub>, elles sont classées entre moyennement dures ,dures et très dures, selon les intervalles du tableau III.7 il y a des valeurs qui sont inférieures à la norme algérienne (500mg /L) en (04-09-1999,06-04-1999,03-05-1999,06-06-1999,03-07-1999,21-08-1999,03-10-1999,08-02-1999,06-03-1999,11-05-1999,09-11-1999) et d'autres qui sont supérieures présentées par les dates (04-12-1999,02-01-2000,01-03-2000,01-04-2000,03-05-2000,03-06-2000,01-07-2000).

### 5. Résidu sec :

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension non volatiles, obtenues après une évaporation d'eau (**Rodier J., 2005**). Une eau dont la teneur en résidu sec est extrêmement faible peut être inacceptable à la consommation, en raison de son goût insipide (**WHO., 1994**).



**Fig.III.4 :** Diagramme des résidus secs.

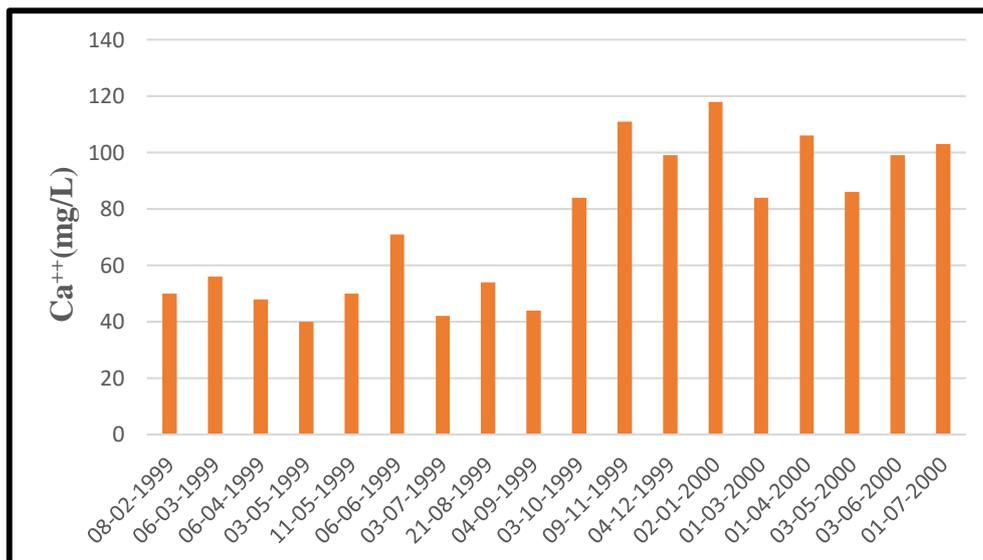
Les valeurs du résidu sec de la source sont comprises entre 360 mg/L en 04/09/1999 et 840 mg/L en 09/11/1999. Elles sont conformes à la norme (1500mg/L).

### III.3.2 Les paramètres chimiques :

#### a. Les cations :

##### 1. L'ion Calcium ( $Ca^{2+}$ ):

Le Calcium est un métal alcalino-terreux, est un élément de la dureté totale, extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates (**Rodier, 2009**).



**Fig.III.5 :** Diagramme de Calcium.

- Les valeurs du calcium sont comprises entre 40 mg/L en 03/05/1999 et 118 mg/L en 02/01/2000.
- Toutes les valeurs sont dans l'intervalle de la norme algérienne qui préconise une concentration de 200mg/L.

## 2. L'ion Magnésium ( $Mg^{2+}$ ) :

Il est métal alcalino-terreux. Un des éléments les plus répandus dans la nature, c'est un élément significatif de la dureté de l'eau.

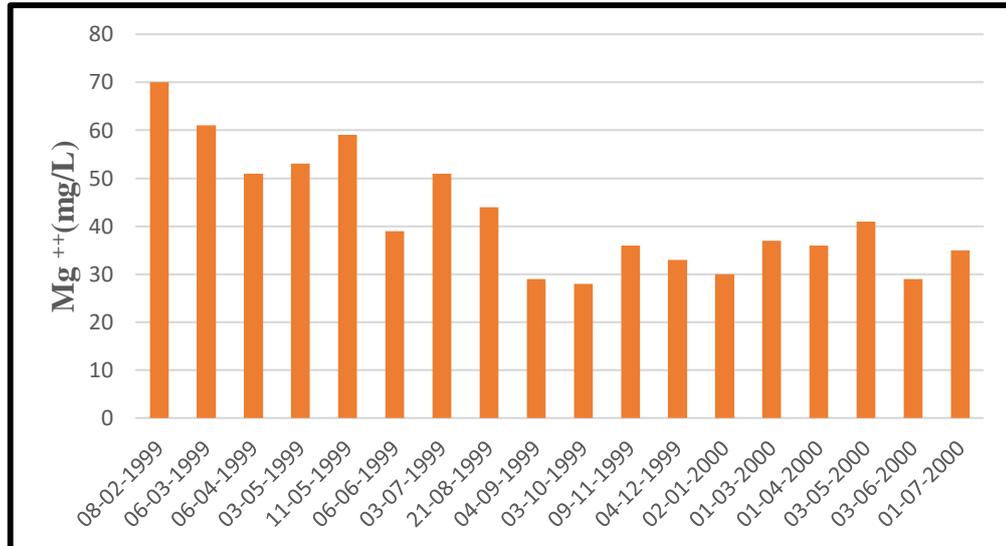


Fig.III.6 : Diagramme de Magnésium.

Les normes algériennes donnent une concentration maximale de 150 mg/L de  $Mg^{2+}$ , les valeurs du magnésium varient entre 28 mg/L en 03/10/1999 et 08/02/1999. Toutes les valeurs sont dans l'intervalle de la norme.

## 3. L'ion Sodium ( $Na^{2+}$ ) :

Le Sodium est un métal alcalin le plus abondant et répandant dans la nature à l'état de chlorure (**Wikipédia**), indépendamment de la lixiviation des formations géologiques contenant du chlorure de sodium, le sel peut provenir de la décomposition de sels minéraux comme les silicates de sodium et d'aluminium, des retombées d'origine marine, de la venue d'eaux salées dans les nappes aquifères (**Rodier,2009**).

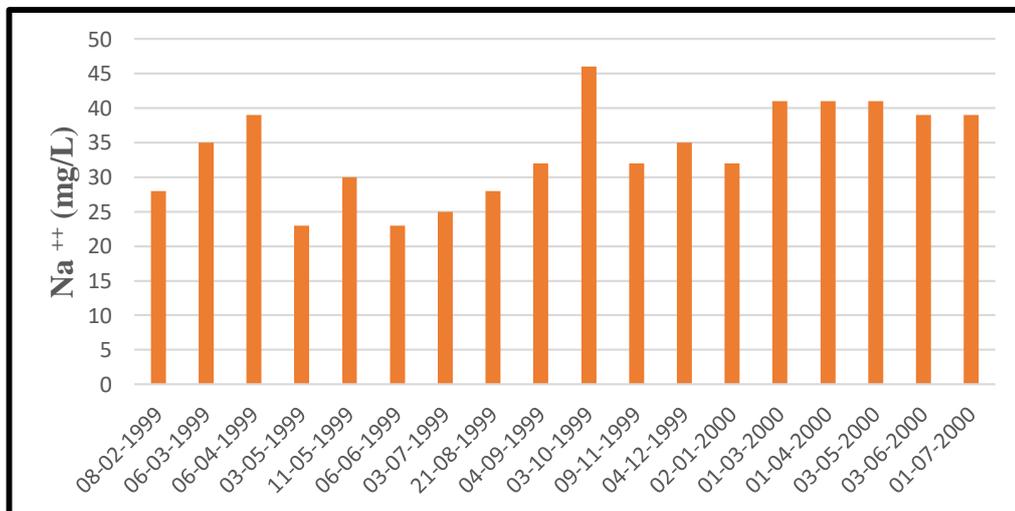


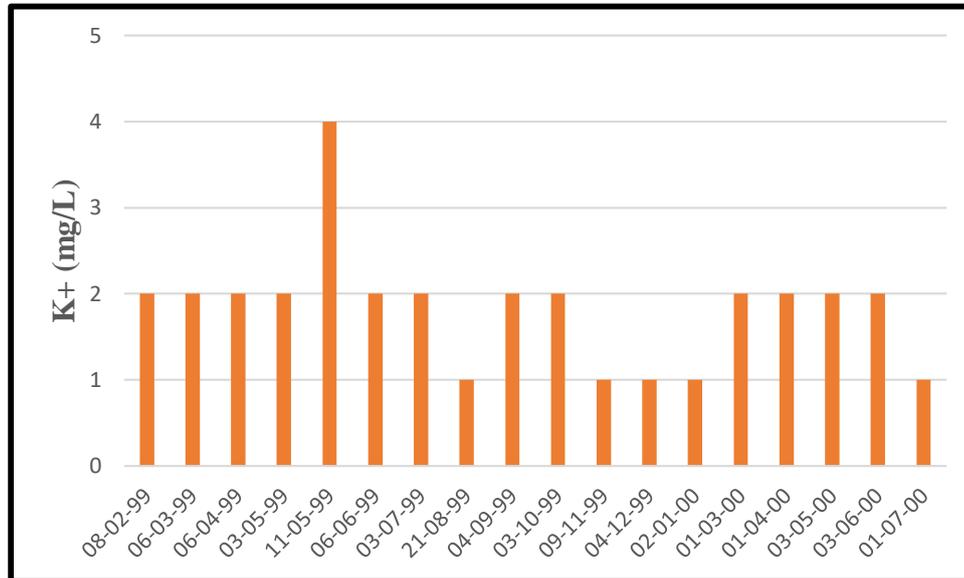
Fig.III.7 : Diagramme de Sodium.

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

Les normes algériennes définies par la réglementation algérienne (NA) fixent une valeur limite de 200 mg/L. Les valeurs dans les eaux étudiées varient entre 23mg/L en (03/05/1999 et 06/06/1999) et 46mg/L en 03/10/1999 .Elles sont au-dessous de la norme prescrite.

### 4. L'ion Potassium ( $K^+$ ) :

Un élément naturel dans les eaux, il est présent à cause de la nature géologique des terrains ou à l'utilisation des engrais et de détergents ou bien les rejets industriels de mines de potasse et d'usines d'engrais (Rodier, 2009).



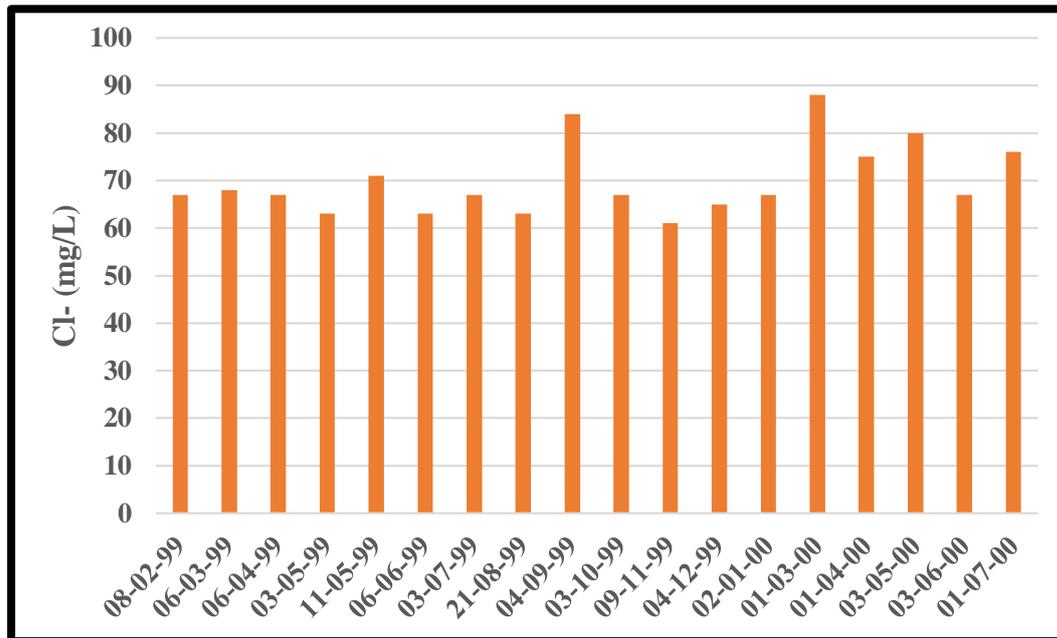
**Fig.III.8** : Diagramme de potassium.

Les valeurs de potassium sont conformes aux normes prescrites (12mg/L). Ces derniers sont compris entre 1 mg/L en (21/08/1999,09/11/1999,04/12/1999,02/01/2000) et 4 mg/L en 11/05/1999.

### b. Les anions :

#### 1. L'ion chlorure ( $Cl^-$ ) :

La teneur en  $Cl^-$  des eaux souterraines est essentiellement fonction de la nature des terrains traversés (RODIER J., 2009).Il peut y avoir d'autres origines en fonction de sa teneur.

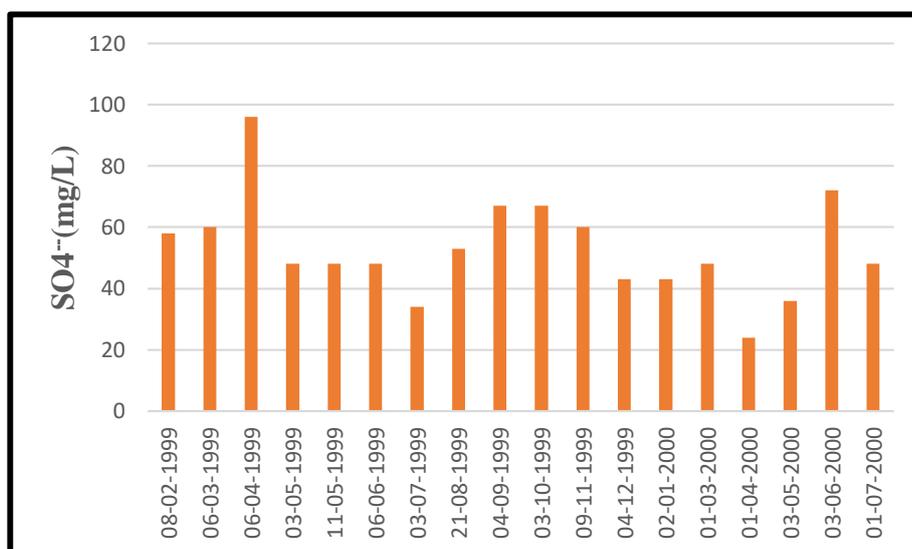


**Fig.III.9 :** Diagramme des Chlorures.

La réglementation de notre pays fixe une norme admissible de 500 mg/L. au niveau de notre source les eaux étudiées a des concentrations qui varient entre 61mg/L en 03/11/1999 et 88 mg/L en 01/03/2000, elles sont au-dessous de la norme prescrite.

## 2. L'ion Sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) :

Ils sont présents naturellement dans l'eau en concentrations très variables. Ils peuvent aussi provenir des rejets des eaux usées ou de l'utilisation des engrais chimiques. La teneur en sulfates des eaux doit être reliée aux éléments alcalins et alcalino-terreux de la minéralisation. La présence de l'ion sulfate dans l'eau est liée naturellement à la dissolution du gypse en concentrations très variables ou de l'utilisation des engrais chimiques ou des rejets des eaux usées (RODIER J., 2009).



**Fig.III.10 :** Diagramme des Sulfates.

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

Les valeurs des ions sulfates trouvées au niveau de la source étudiée sont comprises entre 24 mg/L en 01/04/2000 et 96 mg/L en 06/04/1999, elles restent inférieures à la norme algérienne (400 mg/L).

### 3. L'ion bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) :

La teneur des bicarbonates dans l'eau dépend des terrains traversés (Rodier J., 2005).

Les normes algériennes ne fixent aucune valeur pour ce paramètre, puisque, quel que soit les teneurs en bicarbonates dans les eaux de consommation, la potabilité n'est pas affectée.

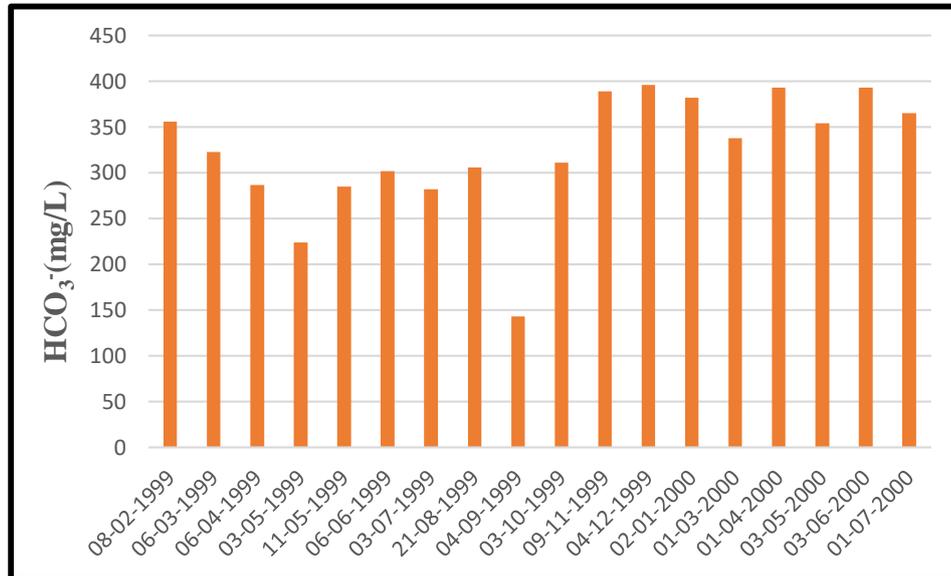


Fig.III.11 : Diagramme des Bicarbonates.

Les teneurs en bicarbonates des eaux analysées sont comprises entre 143 mg/L en 04/09/1999 et 396 mg/L en 04/12/1999.

### 3. L'ion Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ):

Les Nitrates peuvent provenir des engrais chimiques utilisés dans l'agriculture qui s'infiltrent dans le sol avec les eaux d'irrigation ou les eaux de pluies. Les nitrates sont souvent liés au développement des élevages, à une fertilisation excessive des zones agricoles par les engrais, les excréments et fumiers divers, voire les boues de stations d'épuration. Les rejets des collectivités et occasionnellement de certaines industries (Rodier, 2009).

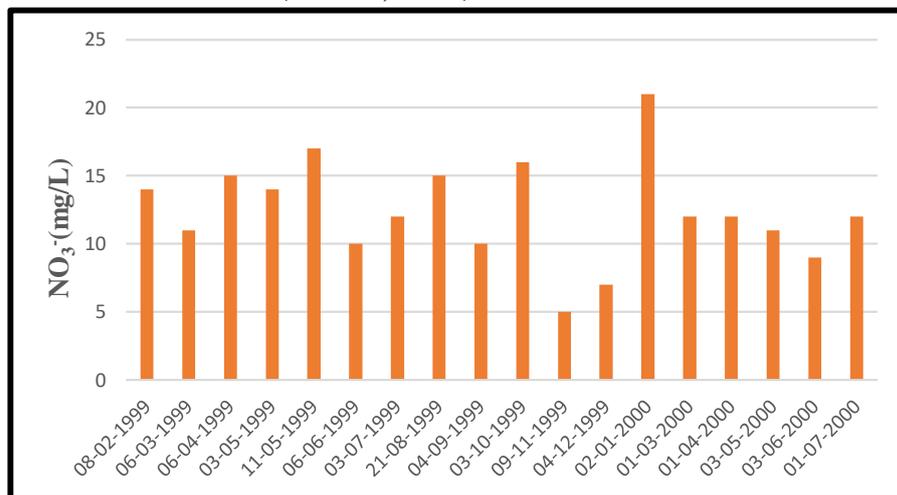


Fig.III.12 : Histogramme des Nitrates.

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

Nous avons constaté que les valeurs de nitrates sont comprises entre 5 mg/L en 09/11/1999 et 21mg/L en 02/01/2000. Elles sont inférieures à la norme algérienne (50 mg/L).

### III.3.3 Récapitulation et classification selon les paramètres physico-chimiques :

Pour avoir une bonne eau potable, il faut respecter et appliquer les directives édictées par le Ministère de la Santé et de l'eau. Les normes qui définissent l'eau potable varient selon la législation en vigueur. L'Algérie a des normes de potabilité, qui ont été utilisées dans cette étude.

**Tab.III.8 :** Classification des eaux de la source d'Ain El Koudia, selon leur potabilité, suivant les normes algériennes (JORA 2014,2011).

Le tableau ci-dessous présente la classification des eaux de la source d'Ain El Koudia, selon leur potabilité : elles avaient des valeurs de dureté totale qui dépassent la valeur maximale admissible (500 mg/L) déduite par la NA, à l'exception des dates :04-12-1999,02-01-2000,01-03-2000,01-04-2000,03-05-2000,03-06-2000,01-07-2000.

Paramètres	Unité	Niveau guide	Concentration Maximale admissible	Résultats des analyses physico-chimiques	
				Conformes aux normes	Non conformes aux normes
Ca <sup>2+</sup>	mg/L	-	200	Oui	/
Mg <sup>2+</sup>	mg/L	-	150		/
Na <sup>+</sup>	mg/L	-	200		/
K <sup>+</sup>	mg/L	-	12		/
Cl <sup>-</sup>	mg/L	-	500		/
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	-	400		/
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	-	50		/
pH	-	6.5	9		/
Dureté totale	mg/L en CaCO <sub>3</sub>	-	500	/	Supérieure à la norme à l'exception de quelques dates.
Résidu sec	mg/L	-	1500	Oui	/
Conductivité	µS/cm	-	2000		/

### III.4 Classification des eaux :

Pour connaître les faciès chimiques et les familles des eaux, nous avons utilisé le programme DIAGRAMMES, en sélectionnant les méthodes suivantes :

1. Le diagramme logarithmique de H. SCHOELLER et E. BERKALOFF.
2. Le diagramme triangulaire de PIPER.
3. Le diagramme de STABLER.

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

### 1. Diagramme logarithmique de H. SCHOELLER et E. BERKALOFF :

A travers le diagramme de Schoeller - Berkaloff, on peut reconnaître les caractéristiques de l'eau souterraine en utilisant les concentrations des éléments majeurs et en reportant leurs résultats sur un graphique disposé en colonnes avec des échelles logarithmiques (MERZOUGUI.F, 2017). Dans le diagramme, les valeurs sont présentées en mg/L, tandis que latéralement, elles sont exprimées en meq/L.

**Tab.III.9 :** Classification des eaux, selon leur faciès chimique.

Dates	Formules caractéristiques	Faciès chimiques
08-02-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	<b>Bicarbonaté Magnésien</b>
06-03-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
06-04-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
03-05-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
11-05-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{SO}_4^- > r \text{Cl}^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
03-07-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
21-08-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
04-09-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Mg}^{2+} > r \text{Ca}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
06-06-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	<b>Bicarbonaté Calcique</b>
03-10-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
09-11-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
04-12-1999	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
02-01-2000	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
01-03-2000	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
01-04-2000	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
03-05-2000	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
03-06-2000	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	
01-07-2000	$r \text{HCO}_3^- > r \text{Cl}^- > r \text{SO}_4^- > r \text{NO}_3^- / r \text{Ca}^{2+} > r \text{Mg}^{2+} > r \text{Na}^+ + \text{K}^+$	

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

### ✚ Interprétation :

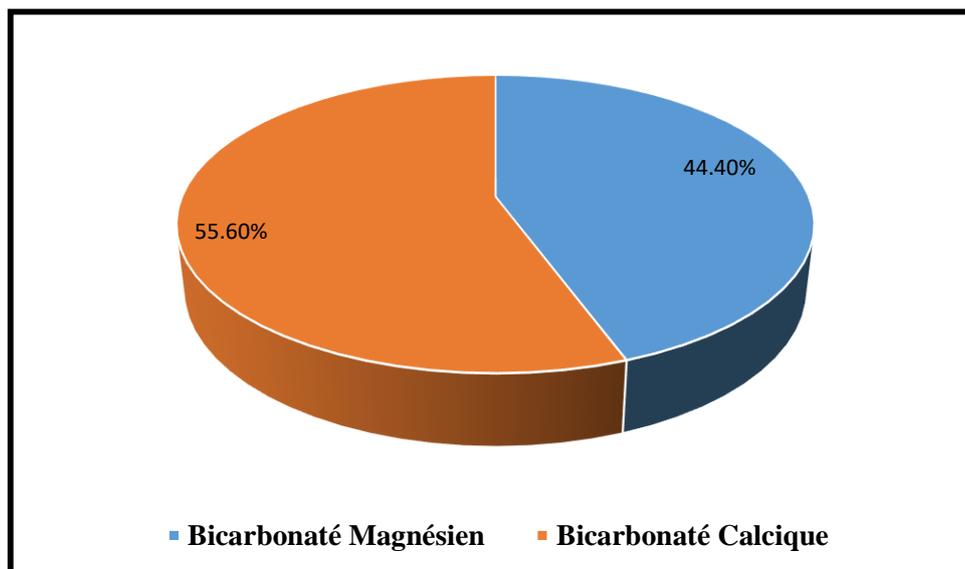
La classification hydro-chimique des eaux de la source d'El Koudia et le report des valeurs des analyses chimiques à partir du diagramme de Schoeller-Berkaloff (figures III.14 et III.15), montre que les faciès chimiques de cette source sont :

- **Faciès bicarbonaté magnésien** : ce faciès représente (44,4%) de la totalité des eaux de la source, il caractérise les eaux des dates suivantes :

- 08-02-1999,
- 06-03-1999,
- 06-04-1999,
- 03-05-1999,
- 11-05-1999,
- 03-07-1999,
- 21-08-1999,
- 04-09-1999.

- **Faciès bicarbonaté calcique** : ce faciès est le plus dominant 55,6%, il caractérise les eaux des dates :

- 06-06-1999
- 03-10-1999
- 09-11-1999
- 04-12-1999
- 02-01-2000
- 01-03-2000
- 01-04-2000
- 03-05-2000
- 03-06-2000
- 01-07-2000



**Fig.III.13** : Distribution des faciès chimiques de la source d'Ain El Koudia.

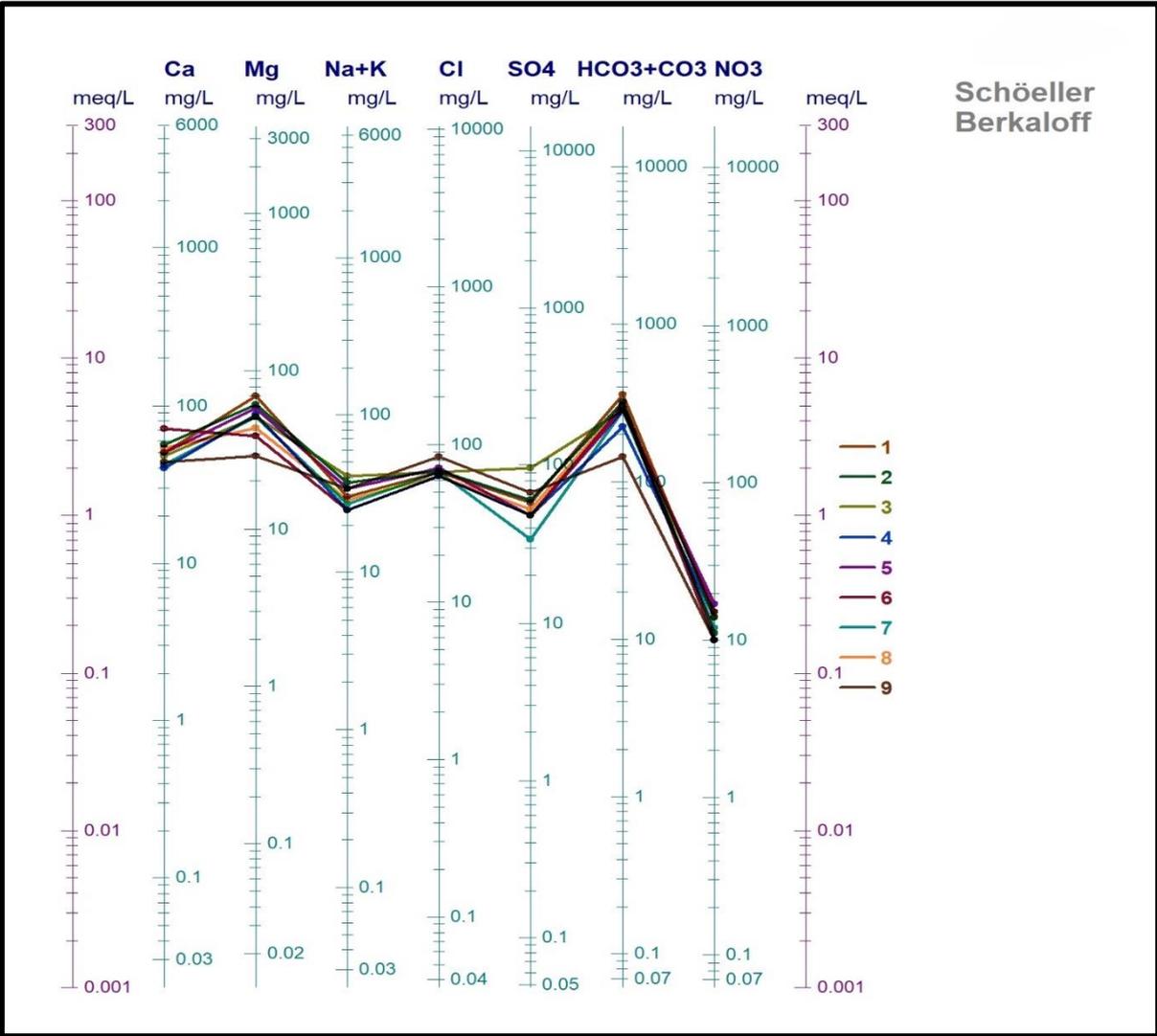


Fig.III.14 : Classification des eaux selon Schöeller- Berkaloff .

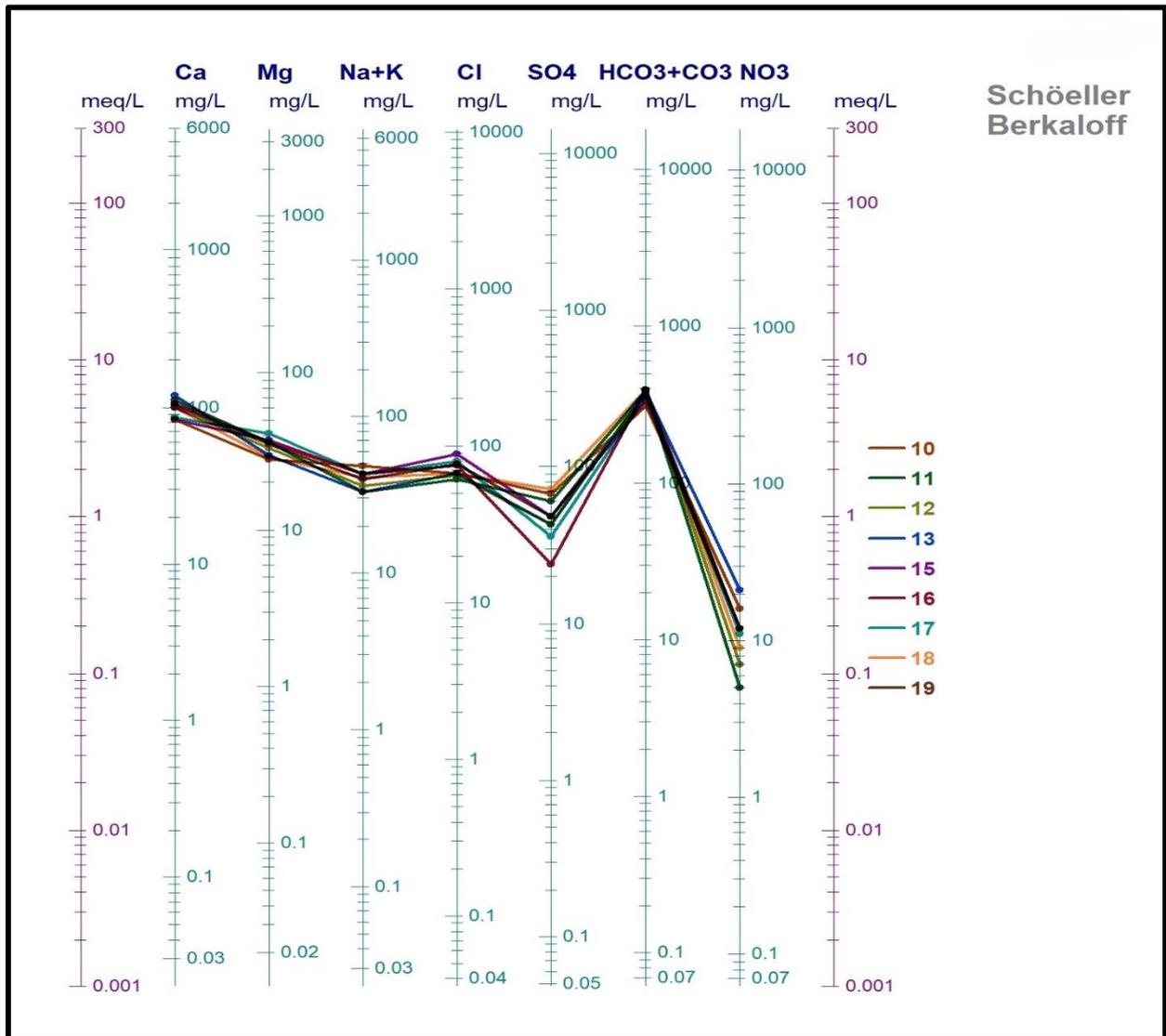


Fig.III.15 : Classification des eaux selon Schöeller-Berkaloff.

## 2. Diagramme de STABLER :

Le diagramme de Stabler Permet de connaître les différents faciès chimiques des eaux ; il est utilisé pour déterminer les différents titres d'une eau (titre d'alcalimétrie, titre en sels d'acides forts et titre d'hydrotimétrie (AMALOUS et IDJOUBARE.H; 2017). Pour cela, les concentrations en meq/L des anions et des cations sont reportées sur deux barres ou colonnes distinctes de même longueur, les concentrations étant reportées en %. La détermination des différents titres est visuelle.



**Fig.III.16** : Diagramme de Stabler.

D'après le diagramme de Stabler (fig.III.16), les faciès dominants sont :

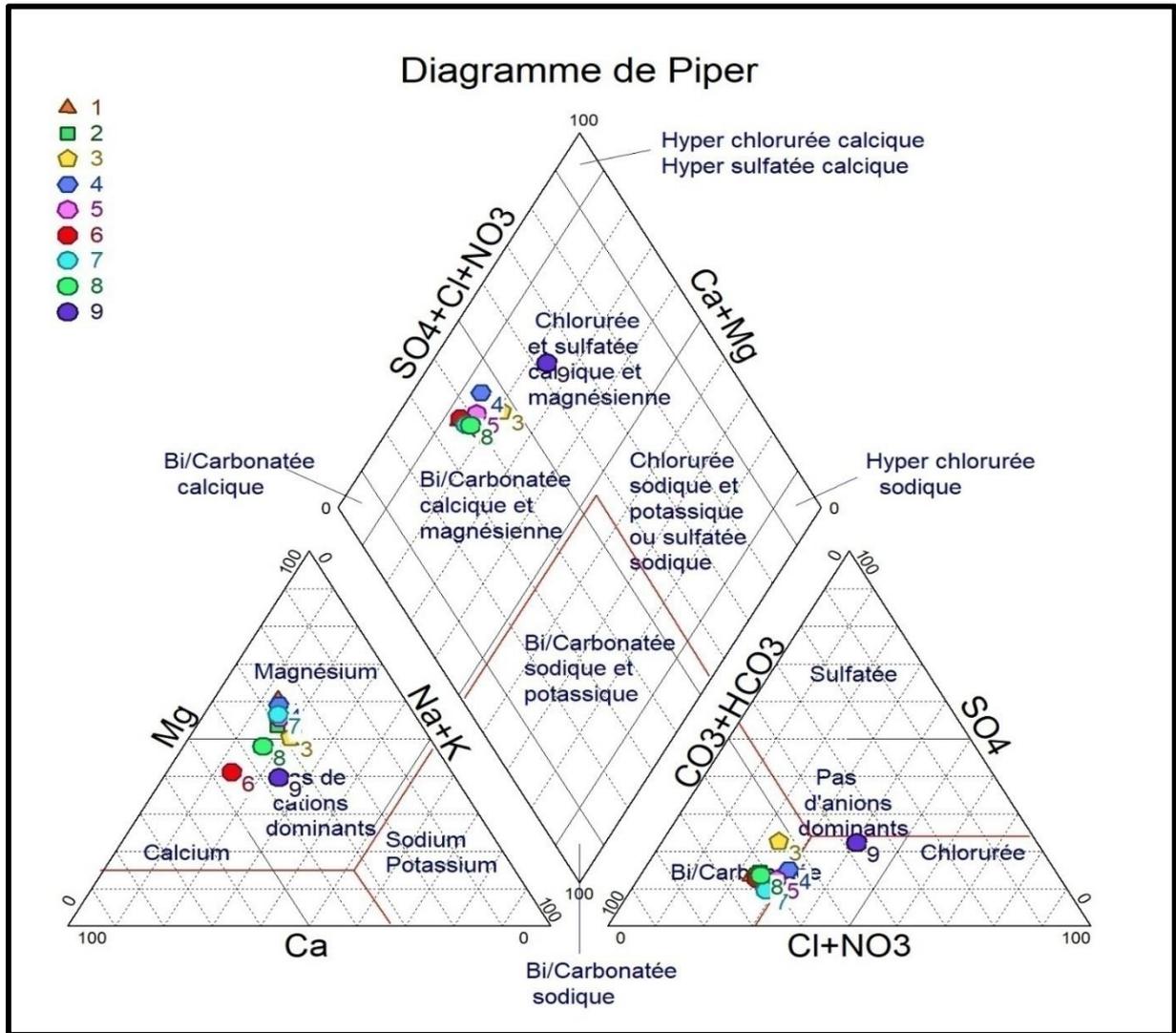
- **Bicarbonaté calcique** : 6,10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19.
- **Bicarbonaté magnésien** : 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9.

### 3. Diagramme triangulaire de PIPER :

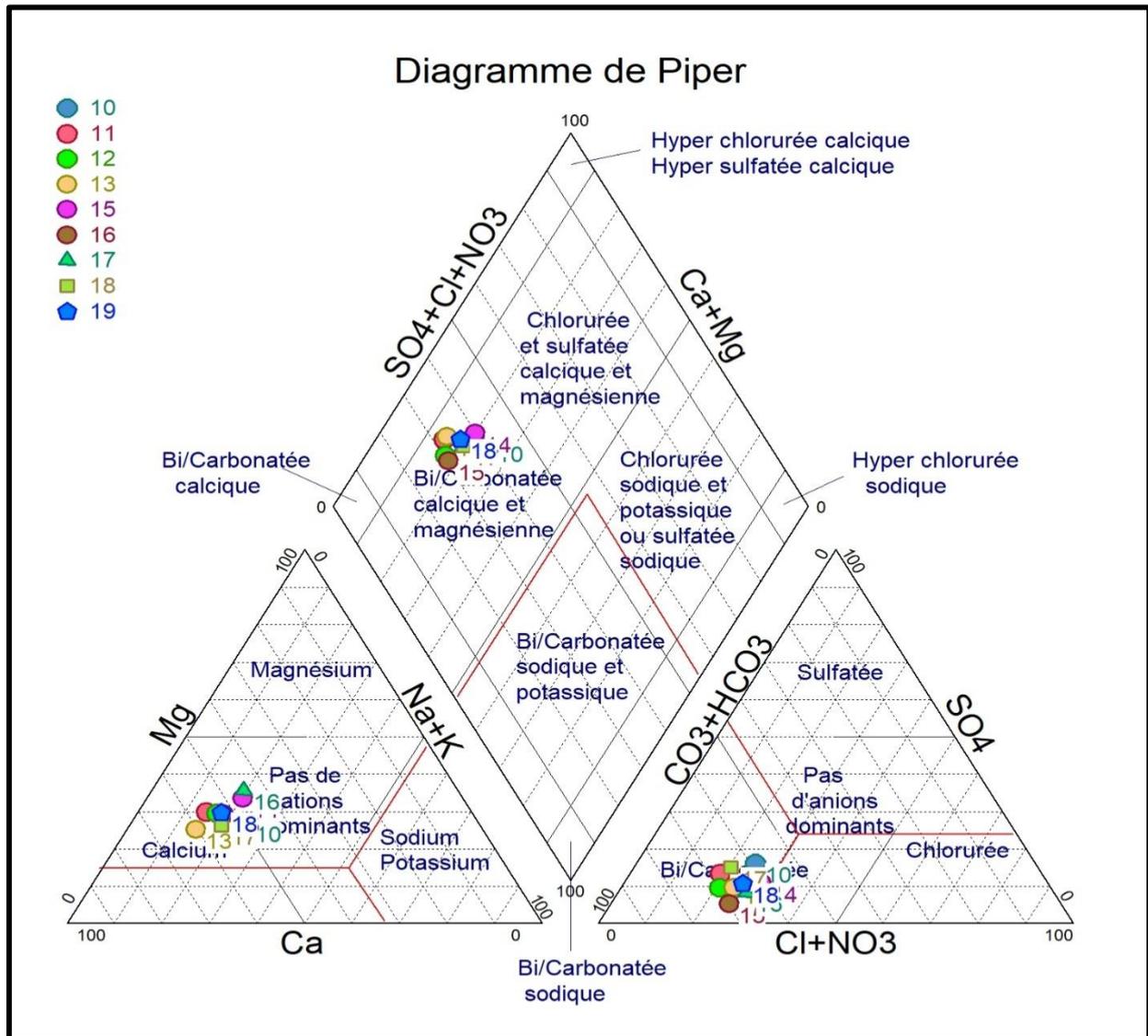
Dans le diagramme de PIPER, les analyses chimiques sont représentées sous forme de grandeurs en réaction (en %). Cela permet de déterminer la composition chimique de l'eau.

Il est possible de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément avec ce diagramme. Il est constitué de deux triangles lui permettant de représenter les faciès cationique et anionique et d'un losange synthétisant pour le faciès global, qui représente les éléments cationiques et anioniques de manière différente par concentration (**Bonnier.J et al, 2009**).

Le diagramme de Piper est particulièrement adapté pour étudier l'évolution des eaux de faciès au fur et à mesure que la minéralisation augmente, ou pour comparer des groupes d'échantillons entre eux, et pour identifier les types dominants de cations et d'anions.



A



B

Fig. (A, B,) III.17 : Diagrammes de Piper.

Selon le diagramme de Piper (Fig.(A, B)III.17), Les eaux appartiennent à deux familles :

- **Bicarbonatée calcique et magnésienne** : caractérise les eaux représentées par les dates :
  - 08-02-1999.
  - 06-03-1999.
  - 06-04-1999.
  - 03-05-1999.
  - 11-05-1999.
  - 06-06-1999.
  - 03-07-1999.
  - 21-08-1999.
  - 03-10-1999.
  - 09-11-1999.
  - 04-12-1999.
  - 02-01-2000.
  - 01-03-2000.
  - 01-04-2000.
  - 03-05-2000.

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

- 03-06-2000.
- 01-07-2000.
- **Chloruré et sulfatée calcique et magnésienne :**
- 04-09-1999.
- 

### II.5 Aptitude des eaux destinées à l'irrigation :

En irrigation, l'efficacité de l'eau est déterminée par ses effets sur le sol et la plante, qui sont affectés par les types de sels présents dans l'eau.

La salinisation est sans doute le principal risque encouru par les terrains irrigués, principalement en climat aride. Il peut être apprécié par la conductivité électrique des eaux d'irrigation (**Rodier J., 1996 in DERROUCHE.S & LAHOUEL.Z,2021**).

L'aptitude des eaux à être utilisées pour l'irrigation, peut être évaluée par un certain nombre d'indices et de diagrammes, parmi lesquels :

1. Le pourcentage en sodium (% Na<sup>+</sup>).
2. L'Indice de Kelly's Ratio (Kr).
3. Le diagramme de RIVERSIDE.
4. Le diagramme de WILCOX.

#### 1. Le pourcentage en Sodium :

Un autre risque majeur est celui de l'alcalinisation des sols par suite d'échanges ioniques, concernant surtout le sodium, le calcium et le magnésium, entre l'eau et les argiles du sol. De fortes teneurs en sodium modifient la structure des sols et leur perméabilité. Ce risque peut être apprécié par le coefficient d'absorption du sodium, l'usage agricole d'une eau demande un pourcentage en sodium inférieure à 60% (**Rodier J., 1996 in BELBACHIR. A et BENDAOU. I ;2020**).

Le pourcentage en Na<sup>+</sup> est donné par la formule suivante :

$$Na^+ = \frac{(Na^+ + K^+)}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+)} \times 100$$

**Tab.III.10 :** Classification des eaux, selon le pourcentage en Na<sup>+</sup>.

Classe	Eau très bonne	Eau bonne	Eau admissible	Eau médiocre	Eau mauvaise
Na <sup>+</sup> %	< 20	20-40	40-60	60-80	>80

**Tab.III.11 :** Pourcentages en Sodium des eaux de la source étudiée (Ain El Koudia).

Dates	Na <sup>2+</sup> %	Classification
08-02-99	20	bonne
06-03-99	24.03	bonne
06-04-99	29.29	bonne
03-05-99	21.19	bonne
11-05-99	23.78	bonne
06-06-99	18.52	Très bonne
03-07-99	22.5	bonne
21-08-99	22.83	bonne
04-09-99	31.78	bonne
03-10-99	30	bonne
09-11-99	18.33	Très bonne
04-12-99	21.4	bonne
02-01-00	18.23	Très bonne
01-03-00	26.22	bonne

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

01-04-00	23.24	bonne
03-05-00	25.29	bonne
03-06-00	24.26	bonne
01-07-00	22.47	bonne

- D'après les résultats obtenus, le pourcentage en sodium est compris entre 18.23% et 31.78%.
- Les eaux étudiées de la source d'Ain El Koudia avaient un taux de sodium inférieur à 60%, elles étaient de qualité bonne à très bonne, donc elles étaient aptes à être utilisées en irrigation dans les années d'étude.

### 2. Indice de Kelly's Ratio (KR) :

L'indice de Kelly's Ratio (KR) est représenté par le rapport des concentrations de  $\text{Na}^+$  et de la somme de  $\text{Ca}^{2+}$  et de  $\text{Mg}^{2+}$ . Il constitue une base pour la détermination de l'aptitude des eaux à l'irrigation (**Paliwal, 1967 in BELOUAFI .A & KHEDIM.S ;2021**).

Cet indice est exprimé par la formule suivante :

$$\text{KR} = \frac{\text{Na}^{2+}}{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})}$$

Les concentrations de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  sont en Meq/L.

**Tab.III.12** : Classification des eaux selon l'indice de Kelly's Ratio (Kr).

KR (Meq/L)	Classification
<b>KR &lt;1</b>	Eau bonne pour l'irrigation.
<b>KR &gt;1</b>	Eau mauvaise pour l'irrigation.

**Tab.III.13** : Valeur du KR des eaux de la source d'Ain El Koudia.

Dates	KR	Classification
08-02-99	0.23	<b>Eau bonne pour l'irrigation.</b>
06-03-99	0.30	
06-04-99	0.40	
03-05-99	0.25	
11-05-99	0.28	
06-06-99	0.21	
03-07-99	0.27	
21-08-99	0.29	
04-09-99	0.44	
03-10-99	0.41	
09-11-99	0.22	
04-12-99	0.27	
02-01-00	0.22	
01-03-00	0.34	
01-04-00	0.29	
03-05-00	0.32	
03-06-00	0.30	
01-07-00	0.28	

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

- Les valeurs calculées du KR indiquent que les eaux de la source étaient de bonne qualité pour l'irrigation (KR < 1).

### 3. Diagramme de Riverside :

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses, il joue un rôle important dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Pour déterminer ce risque, Riverside a créé une classification qui considère le rapport du sodium absorbé par le sol (SAR : Sodium Adsorption Ratio) et la conductivité. Lorsque la concentration des ions  $Na^+$  à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations  $Ca^{+2}$  (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action (**Rodier J.,1996 in DERROUCHE.S & LAHOUEL.Z;2021**).

Le SAR est défini par la relation suivante :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Tab.III.14 : Classement des eaux selon le Sodium Adsorption Ratio (S.A.R).

S.A.R	Classement
S.A.R < 10	eau excellente, à faible danger d'alcalinisation des sols.
10 < S.A.R < 18	eau de bonne qualité, danger d'alcalinisation assez appréciable
18 < S.A.R < 26	eau convenable, danger d'alcalinisation important
S.A.R > 26	eau de qualité médiocre, danger de forte alcalinisation

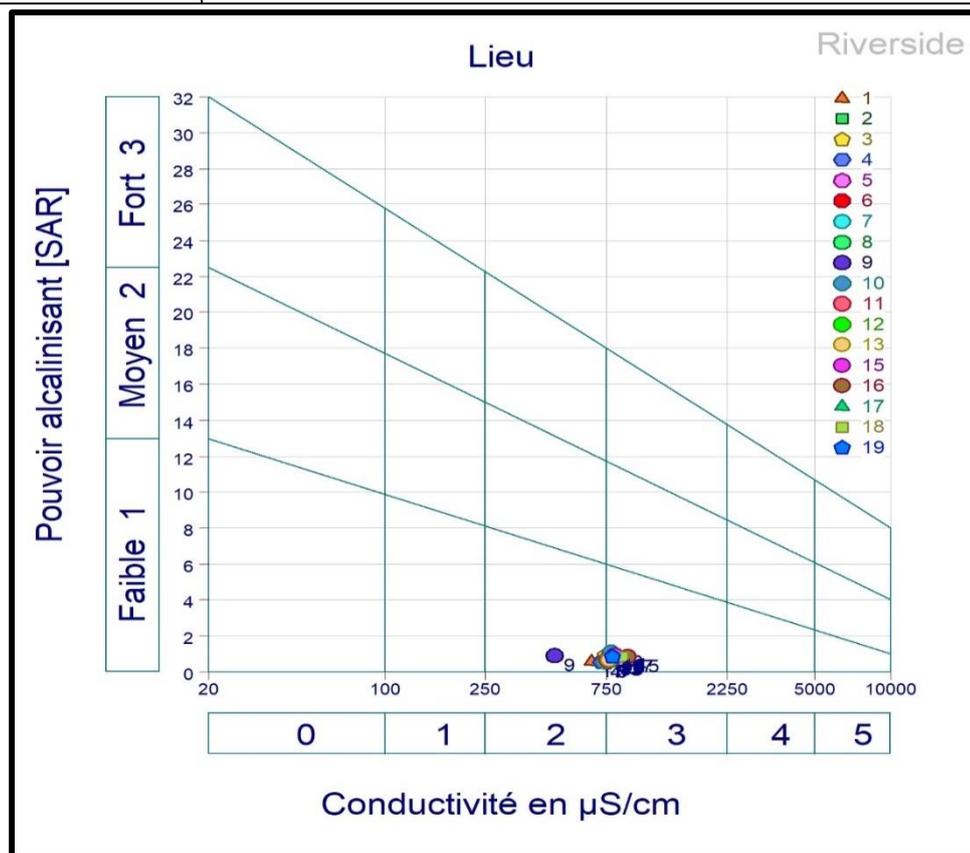


Fig.III.18 : Diagramme de RIVERSIDE.

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

D'après le diagramme de Riverside (Fig.III.18), les eaux de la source d'Ain El Koudia sont classées dans deux classes :

- La classe C2-S1 : représentée par les échantillons : (1 date du 08-02-1999, 3 en 06-04-1999, 7 en 03-07-1999, 9 en 04-09-1999, 11 en 09-11-99). Ils étaient de bonne qualité pour l'irrigation.
- La classe C3-S1 : représentée par le reste des échantillons. Ils étaient admissibles pour l'irrigation..

#### 4. Diagramme de WILCOX :

Le diagramme de WILCOX permet de voir une autre classification des eaux souterraines concernant leur aptitude à l'irrigation. WILCOX a établi en 1954 un diagramme qui tient compte du pourcentage de sodium et de la conductivité électrique, définissant 5 classes d'eau (excellente, bonne, admissible, médiocre et mauvaise).

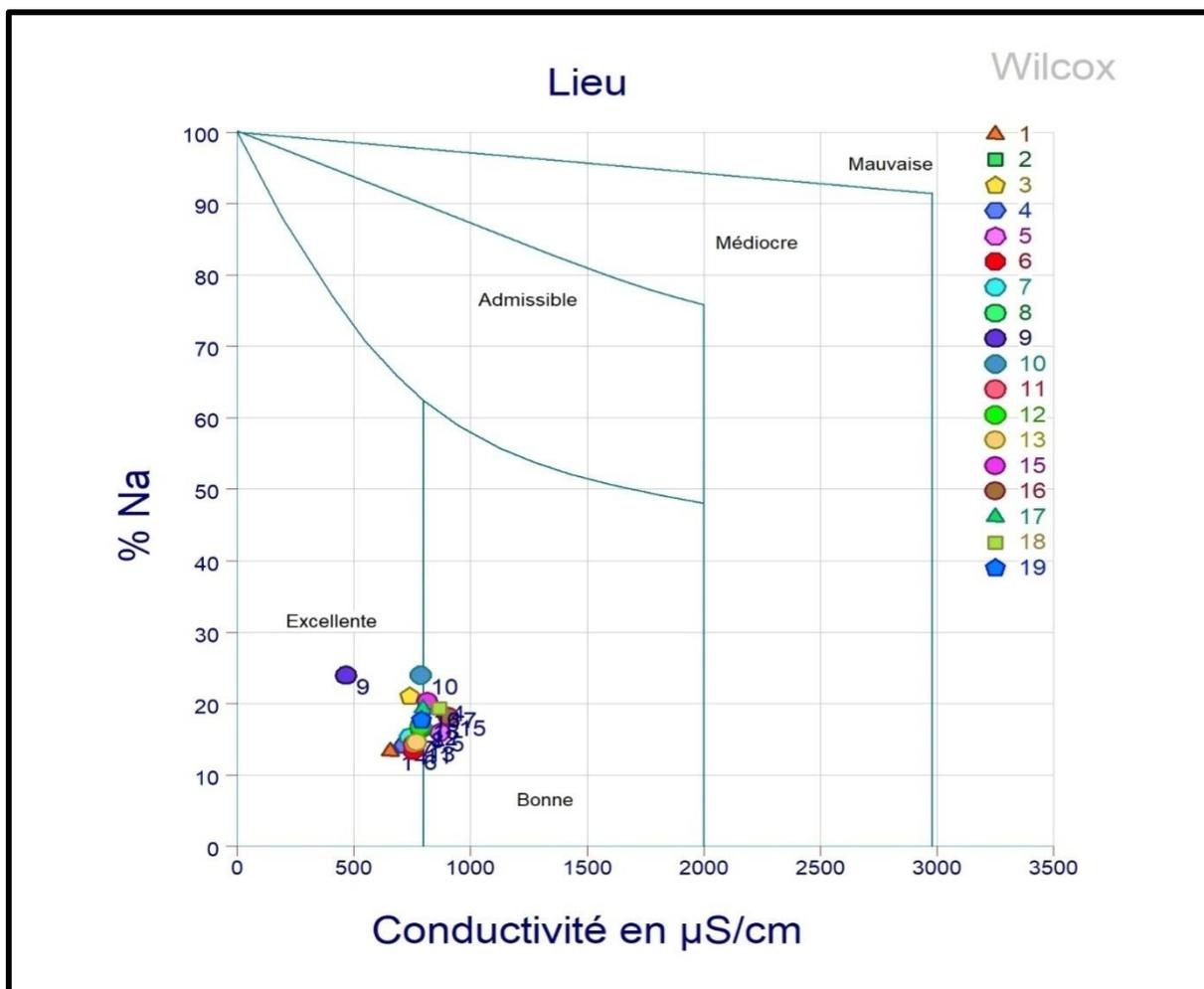


Fig.III.19 : Diagramme de WILCOX.

D'après le diagramme de WILCOX (Fig.III.19), nous remarquons que les eaux de la source étudiée appartiennent à deux classes : **excellente** et **bonne** :

\***Excellente** représentée par les dates numérotées comme suit :

- 08-02-1999 → (1)
- 06-03-1999 → (2)
- 06-04-1999 → (3)

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

- 03-05-1999 → (4)
- 06-06-1999 → (6)
- 03-07-1999 → (7)
- 21-08-1999 → (8)
- 04-09-1999 → (9)
- 09-11-1999 → (11)
- 04-12-1999 → (12)
- 02-01-2000 → (13)
- 01-03-2000 → (14)
- 01-04-2000 → (15)
- 03-05-2000 → (16)
- 01-07-2000 → (19)

\***Bonne** : contient le reste des échantillons.

### III.6 Origine de la minéralisation :

La minéralisation de l'eau est un paramètre géochimique qui condense l'ensemble des informations sur les composés dissoute que l'on obtient facilement par la mesure de la conductivité.

#### a. Indice de saturation :

L'étude des équilibres chimiques des eaux de la source d'Ain El Koudia vis-à-vis des minéraux est fondée sur le calcul des activités ioniques. Pour cela, le programme PHREEQC-2 (VERSION2.10)

L'utilisation de ce programme nous a permis de déterminer les indices de saturation de quelques minéraux spécifiques (la calcite, l'aragonite, la dolomie, le gypse, l'anhydrite, l'halite et le quartz).

Les indices de saturation calculés mesurent le degré d'équilibre chimique entre l'eau et le minéral dans la matrice de l'aquifère, ainsi que le taux de dissolution et de précipitation de l'interaction de l'eau avec la roche.

$$I.S = \log (Q/K)$$

**Q** : est le produit ionique de la solution.

**K** : est le produit de solubilité de la calcite.

**Tab.III.15** : Classification des eaux selon l'indice de saturation d'après PHREEQ C.

Is	Classification
<b>Is &lt; -0.5</b>	l'eau est sous saturée
<b>-0.5 &lt; Is &lt; 0.5</b>	l'eau est en équilibre avec la roche, pourvu que le temps de séjour soit suffisamment long.
<b>Is &gt; 0.5</b>	l'eau est sursaturée

**Tab.III.16** : Indice de saturation d'après PHREEQ C.

Dates	Minéraux carbonatés			Minéraux évaporitiques	
	Aragonite	Calcite	Dolomite	Anhydrite	Gypsum
<b>08-02-1999</b>	-0.42	-0.28	-0.06	-2.32	-2.1
<b>06-03-1999</b>	-0.41	-0.27	-0.15	-2.24	-2.02
<b>06-04-1999</b>	-0.53	-0.39	-0.4	-2.09	-1.87
<b>03-05-1999</b>	-0.69	-0.54	-0.61	-2.43	-2.21
<b>11-05-1999</b>	-0.5	-0.36	-0.3	-2.37	-2.15
<b>06-06-1999</b>	-0.32	-0.18	-0.26	-2.2	-1.98
<b>03-07-1999</b>	-0.57	-0.42	-0.41	-2.56	-2.34

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

21-08-1999	-0.43	-0.29	-0.32	-2.27	-2.05
04-09-1999	-0.83	-0.68	-1.2	-2.2	-1.98
03-10-1999	-0.24	-0.1	-0.33	-1.99	-1.77
09-11-1999	-0.04	0.1	0.06	-1.96	-1.74
04-12-1999	-0.08	0.07	0.01	-2.13	-1.91
02-01-2000	-0.02	0.12	0	-2.07	-1.85
01-03-2000	-0.21	-0.07	-0.14	-2.15	-1.93
01-04-2000	-0.05	0.09	0.07	-2.37	-2.15
03-05-2000	-0.18	-0.04	-0.05	-2.27	-2.05
03-06-2000	-0.09	0.06	-0.07	-1.91	-1.69
01-07-2000	-0.1	0.05	-0.02	-2.08	-1.86

D'après le tableau III.16, nous constatons que :

-Les minéraux carbonatés d'Ain El Koudia sont en équilibre, car leurs indices de saturations sont compris entre -0.5 et 0.5 sauf les dates suivantes : 04-09-1999 et 03-05-1999 sont sous saturée en dolomite et en calcite ( $Is < -0.5$ ).

-Les minéraux évaporitiques sont sous- saturés pour toutes les eaux de la source d'Ain El koudia ( $Is < -0.5$ ).

### III.7 Etude statistique :

#### III.7.1 Principe et méthode de l'analyse en composantes principales (A.C.P) :

L'analyse en composantes principales (ACP), est un outil permettant de comparer simultanément tous les éléments en question entre eux et de quantifier les relations qui les lient. Bien que l'ACP soit une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique multi variée, le but du traitement est d'identifier les principaux facteurs qui contrôlent la chimie des eaux souterraines. ACP consiste à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées » en statistique) en nouvelles variables décorrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », ou axes principaux.

Cette méthode statistique multi-variée permet au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante Ces outils statistiques multi-variés s'agitent d'une approche à la fois géométrique (les variables étant représentées dans un nouvel espace, selon des directions d'inertie maximale) et statistique (la recherche portant sur des axes indépendants expliquant au mieux la variabilité des (WHO, 1994).

#### III.7.2 Matrice des corrélations et matrice des covariances :

La matrice Pearson, corrélation entre les paramètres physico-chimiques pour les eaux souterraines aide à comprendre certains phénomènes dégagés par l'interaction eau-roche. La matrice de corrélation facilite la détection de certaines liaisons entre les individus (variables).

Les résultats sont disposés en deux tableaux carrés à m lignes et m colonnes (pour m paramètres) et sont appelés matrices en mathématiques. Chaque variable est parfaitement corrélée à l'autre dans une matrice de corrélations, qui a une diagonale principale de 1 caractère.

#### ❖ Interprétation des résultats :

##### a. Matrice de corrélation :

Tab.III. 17 : Matrice de corrélation.

Variables	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Ca <sup>2+</sup>	1							
Mg <sup>2+</sup>	-0.676	1						
Na <sup>+</sup>	0.511	-0.451	1					

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

<b>K<sup>+</sup></b>	-0.495	0.448	-0.055	1				
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0.050	-0.227	0.475	0.216	1			
<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	-0.268	0.046	0.180	0.040	-0.168	1		
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>0.790</b>	-0.176	0.388	-0.373	-0.185	-0.265	1	
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	-0.192	0.214	-0.032	0.248	-0.018	0.006	-0.159	1

**Tab.III.18 :** Classification des eaux selon la matrice de corrélation « r ».

<b>Corrélation</b>	<b>Négative</b>	<b>Positive</b>
Faible	de -0,5 à 0,0	de 0,0 à 0,5
Forte	de -1,0 à -0,5	de 0,5 à 1,0

Elle permet de donner une approche sur l'origine commune de certains paramètres. On admet qu'une corrélation est significative, si la valeur du coefficient de corrélation « r » est comprise entre +0,5 et 1 (relation positive) et -0.5 et -1 (relation négative). Dans notre cas, plusieurs liaisons sont significatives, mais à des degrés variables. La matrice de corrélation montre :

- **Une forte corrélation positive** (0.511 à 0.789) entre les éléments chimiques (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Ca<sup>2+</sup>) et (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>).
- **Une faible corrélation positive** (0.006 à 0.475) entre les éléments chimiques (Cl<sup>-</sup>/Ca<sup>2+</sup>), (K<sup>+</sup>/Mg<sup>2+</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>/Mg<sup>2+</sup>), (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Mg<sup>2+</sup>), (Cl<sup>-</sup>/Na<sup>+</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>/Na<sup>+</sup>), (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/Na<sup>+</sup>), (Cl<sup>-</sup>/K<sup>+</sup>), (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>/K<sup>+</sup>), (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>-</sup>), (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/K<sup>+</sup>).
- **Une forte corrélation négative** (-0.675) entre les éléments chimiques (Mg<sup>2+</sup>/Ca<sup>2+</sup>).
- **Une faible corrélation négative** (-0.17 à -0.495) entre les éléments chimiques résiduels.

### b. Coefficient de variation :

Le coefficient de variation (CV) est le rapport de l'écart-type à la moyenne.

**Tab.III.19 :** Coefficient de variation des éléments chimiques majeurs.

<b>Variable</b>	<b>CV</b>
Ca <sup>+2</sup>	0.36
Mg <sup>+2</sup>	0.29
Na <sup>+</sup>	0.20
K <sup>+</sup>	0.39
Cl <sup>-</sup>	0.11
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0.31
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.20
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.30

Les résultats de coefficients de variation ont montré que tous les paramètres physico-chimiques (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>,) sont inférieurs à 50% ce qui indique une homogénéité due à une répartition régulière de ces paramètres dans le temps.

### III.7.3 Analyse en Composante Principale :

Pour caractériser les relations entre les éléments chimiques (variables) et le regroupement des échantillons (individus), nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) et une classification hiérarchique ascendante (CAH).

L'analyse en composantes principales (ACP), est un outil permettant de comparer simultanément tous les éléments en question entre eux et de quantifier les relations qui les lient. Bien que l'ACP soit une méthode de la famille de l'analyse des données et plus généralement de la statistique

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

multi-variée, le but du traitement est d'identifier les principaux facteurs qui contrôlent la chimie des eaux souterraines.

L'ACP consiste à transformer des variables liées entre elles (dites « corrélées » en statistique) en nouvelles variables dé-corrélées les unes des autres. Ces nouvelles variables sont nommées « composantes principales », ou axes principaux. Cette méthode statistique multi-variée permet au praticien de réduire le nombre de variables et de rendre l'information moins redondante. Ces outils statistiques s'agitent d'une approche à la fois géométrique (les variables étant représentées dans un nouvel espace, selon des directions d'inertie maximale) et statistique (la recherche portant sur des axes indépendants, expliquant au mieux la variabilité des (WHO, 1994).

L'analyse statistique par ACP nous a montré qu'il existe huit facteurs actifs qui sont responsables de cette minéralisation, mais seuls les quatre premiers facteurs (F1, F2, F3 et F4) qui représentent 82.89% de la variance totale (Tab.III.20) peuvent interpréter d'une manière satisfaisante la minéralisation des eaux.

**Tab.III.20** : Corrélations entre les variables et les facteurs.

Valeurs propres				
	F1	F2	F3	F4
<b>Valeur propre</b>	2.929	1.551	1.160	0.991
<b>Variabilité (%)</b>	36.607	19.388	14.506	12.386
<b>% cumulé</b>	36.607	55.995	70.501	<b>82.89</b>
Contributions des variables (%)				
	F1	F2	F3	F4
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	<b>30.818</b>	0.330	1.337	1.716
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	<b>18.894</b>	3.137	4.807	4.546
<b>Na<sup>+</sup></b>	12.835	<b>25.198</b>	2.019	10.086
<b>K<sup>+</sup></b>	12.619	13.823	6.435	1.802
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0.730	<b>47.730</b>	4.041	9.252
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	1.662	1.367	<b>67.570</b>	11.099
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>18.753</b>	6.407	5.718	13.059
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	3.689	2.008	8.074	<b>48.440</b>

Cette analyse nous a permis aussi de constater que le facteur F1 qui représente 36.607% réagit d'une manière plus importante avec les éléments chimiques (Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>2+</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ce qui témoigne de la dissolution des formations carbonatées. Tandis que le reste des éléments chimiques

Cette analyse nous a permis aussi de constater que le facteur F1 qui représente 36.607% réagit d'une manière plus importante avec les éléments chimiques (Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>2+</sup> et HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ce qui témoigne de la dissolution des formations carbonatées. Tandis que le reste des éléments chimiques réagit d'une manière très importante avec les autres facteurs (F2, F3, F4) ce qui nous mène à dire que ces derniers sont des facteurs de pollutions due aux infiltrations des eaux usées et d'irrigation.

### III.8 Conclusion :

L'étude hydrogéochimique réalisée à partir des analyses physico-chimiques disponibles des eaux de la source d'Ain El Koudia a fait ressortir les résultats suivants :

- Les eaux de la source, en se référant aux **normes Algériennes**, par rapport à la période étudiée avaient des taux élevés en dureté totale qui dépassent la valeur maximale admissible (500 mg/L) , à l'exception de quelques dates.
- Selon les diagrammes de **Schoeller- Berkaloff et Stabler**, nous avons obtenu deux faciès :

## CADRE HYDROGEOCHIMIQUE

---

- **Faciès bicarbonaté magnésien.**
- **Faciès bicarbonaté calcique.**
  
- **Le diagramme de Piper** a classé les eaux de la région d'étude selon deux familles :
  - **Bicarbonatée calcique et magnésienne**(le faciès le plus dominant).
  - **Chlorurée et sulfatée calcique et magnésienne** : représenté par la date du 04-09-1999.
- Les eaux étudiées de la source d'Ain El Koudia avaient un taux de sodium inférieur à 60%, elles étaient de qualité bonne à très bonne, donc elles étaient aptes à être utilisées en irrigation. Les valeurs calculées du KR indiquent que les eaux de la source étaient de bonne qualité pour l'irrigation ( $KR < 1$ ).
  
- **Le diagramme de RIVERSIDE** a montré que la source d'Ain El Koudia est classée dans deux classes :
  - La **classe C2-S1** : représentée par les échantillons (1 en 08-02-1999, 3 en 06-04-1999, 7 en 03-07-1999, 9 en 04-09-1999, 11 en 09-11-99). Ils étaient de bonne qualité pour l'irrigation.
  - La **classe C3-S1** : représentée par le reste des échantillons. Ils étaient admissibles pour l'irrigation.
  -
  
- **Le diagramme de WILCOX**, nous a permis de remarquer que les eaux étaient réparties en deux classes : Excellente et bonne pour l'irrigation.
  
- Le report des éléments chimiques sur le **diagramme PHREEQ C**, nous a montré que les indices de saturation pour :
  - les minéraux carbonatés sont généralement en équilibre à l'exception de quelques périodes qui sont sous-saturées en dolomite et en calcite.
  - Les minéraux évaporitiques sont sous-saturés pour toutes les eaux étudiées.
  
- Les résultats analytiques de **l'étude statistique** ont montré que l'origine de la minéralisation est due à la dissolution des minéraux de l'aquifère carbonaté ainsi qu'aux facteurs anthropiques.

**CONCLUSION GENERALE**

### CONCLUSION GENERALE

Ce modeste travail a pour but de déterminer l'origine de la minéralisation des eaux de la source d'Ain El Koudia.

L'étude climatologique faite sur une période allant de 1995 à 2020 a montré que le type du climat de la région de Tlemcen est semi-aride, avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec.

- La moyenne annuelle des précipitations est de 517 mm.
- La température moyenne mensuelle est d'environ 17,8 °C. Les mois de Juillet et d'Août sont les plus chauds (26.2°C et 26.5°C), et Janvier est le mois le plus froid (10.5°C).
- Le diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gaussens, nous a permis de définir une période humide qui s'étale du début de mois de Septembre jusqu'à la fin du mois de Mai et une période sèche couvrant le reste des mois de l'année.

L'étude géologique a révélé que les Monts de Tlemcen sont constitués essentiellement de terrains mésozoïques, formant une ossature par des formations mio-plio-quaternaires. L'analyse structurale de la région montre qu'elle présente une tectonique cassante, avec des déformations qui marquent la présence de synclinaux et d'anticlinaux.

La synthèse hydrogéologique a montré que les formations carbonatées du Jurassique supérieur lorsqu'ils sont fissurés présentent un intérêt hydrogéologique dans la région d'étude.

L'étude hydrogéochimique réalisée à partir des analyses physico-chimiques disponibles des eaux de la source d'Ain El Koudia a permis d'aboutir aux résultats suivants :

La source avait des teneurs en dureté totale qui dépassent la valeur maximale admissible (500 mg/L) déduite par la norme algérienne, à l'exception de quelques dates.

La représentation des eaux sur des diagrammes a donné les résultats suivants :

- Le diagramme de Schoeller-Berkaloff montre que les faciès chimiques de cette source captée sont :
  - **Faciès Bicarbonaté Magnésien** : ce faciès représente (44,4%) de la totalité des eaux de source.
  - **Faciès Bicarbonaté Calcique** : ce faciès est le plus dominant (55,6%).
- D'après le diagramme de Stabler, les faciès déterminés sont :
  - **Bicarbonaté Calcique.**
  - **Bicarbonaté Magnésien.**
- Selon le diagramme de Piper, Les eaux appartenaient à deux familles :
  - **Bicarbonatée Calcique et Magnésienne ;**
  - **Chlorurée et Sulfatée Calcique et Magnésienne.**

L'estimation des eaux à des fins d'irrigation, en utilisant des indices, comme le pourcentage en  $Na^+$ , et le Kr a fait révéler que :

- Les eaux de la source en calculant le % en  $Na^+$  et le Kr étaient classées : bonne à très bonne qualité (%  $Na^+$ ) et de bonne qualité (Kr inférieur à 1) pour l'irrigation.
- Le diagramme de RIVERSIDE a montré que la source d'Ain El Koudia est classée dans deux classes :
  - C2-S1 : bonne qualité pour l'irrigation.
  - C3-S1 : admissible.
- Selon WILCOX, nous avons obtenu deux classes :
  - Excellente.
  - La majorité des eaux étaient bonnes pour l'irrigation.

Le report des éléments chimiques sur le **diagramme PHREEQ C**, nous a montré que les indices de saturation pour :

## CONCLUSION GENERALE

---

- les minéraux carbonatés sont généralement en équilibre à l'exception de quelques périodes qui sont sous-saturées en dolomite et en calcite.
- Les minéraux évaporitiques sont sous-saturés pour toutes les eaux étudiées.

Les résultats analytiques de l'étude statistique ont montré que l'origine de la minéralisation est due à la dissolution des minéraux de l'aquifère carbonaté ainsi qu'aux facteurs anthropiques.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- **ABLAOUI Halima (2013)**- Structure et fonctionnement de trois émergences karstiques des Monts de Tlemcen à partir des réponses hydrogéologiques et hydrochimiques (période du 12/12/2005 au 16/01/2007). Mém. Magister, Univ. Oran, 169 p.
- **AMALOU Souhila et IDJOUBARE Hanane(2017)**- Cartographie de la qualité de la nappe alluviale du Bas Isser). Mém. Master, Univ. Bouira, 84 p.
- BELBACHIR Amina et BENDAOUD Imene (2020)**-Contribution à l'étude hydrogéochimique des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen (Nord-Ouest algérien). Mém. Master, Univ. Tlemcen, 67 p.
- **BELOUAFI Asma & KHEDIM Sanaâ (2021)** – Contribution à l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de la source d'Ain El Houtz (Tlemcen, Ouest algérien).Mém. Master, Univ. Tlemcen, 78 p.
- **BEMMOUSSAT Abdelkader (2012)**- Impact de l'activité agricole sur la qualité des eaux souterraines à travers le bassin de la Tafna. Mém. Magister, Univ. Tlemcen, 155 p.
- **BENEST Michel, BENSALAH Mustapha, BOUABDELLEH Hamza, OURDAS T (1999)**-La couverture mésozoïque du domaine tlemcenien 'Avant pays Tellien d'Algérie occidentale: Stratigraphie, Paléo- environnement, dynamique sédimentaire et tectogenèse alpine. Bulletin du service géologique de l'Algérie, vol.10, n°2.
- **BENSAOULA Fouzia (2006)**- Karstification, hydrogéologie et vulnérabilité des eaux karstiques, mise au point d'outil pour leur protection (application au Monts de TlemcenOuest Oranais). Thèse. Doc. Univ. Tlemcen, 184 p.
- **COLLIGNON Bernard (1984)**- Contribution de la spéléologie à la compréhension de l'hydrogéologie des Monts de Tlemcen. Colloque : l'eau chef du développement au Maghreb- Oran, oct.1984.
- **COLLIGNON Bernard (1986)**- Hydrogéologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Tome 1). Thèse. Doc. Univ. d'Avignon. 216p.
- **DERROUCHE Sara & LAHOUEL Zahra(2021)**- Contribution à l'étude de l'évolution de la qualité physico-chimique des eaux de la source de Kobet El Djouz (Tlemcen, Ouest algérien). Mém. Master, Univ. Tlemcen, 78 p.
- **ELMI Serge (1970)** - Rôle des accidents décrochant de direction SSW/NNW dans la structure des Monts de Tlemcen (Ouest algérien).Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, Algérie, fasc. 3-4.
- **GUARDIA Pierre (1975)**- Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Relation structurales et paléogéographiques.
- **HAYANE Sidi Mohamed (1983)**- Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique du bassin versant de l'Oued Sikkak (région de Tlemcen). Thèse. Doc. 3ème cycle, Univ. Oran, 236 p.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- **KEDDAH Karima et MEDJAHDI Naïma (2018)** -Contribution à l'étude physico-chimique de quelques sources dans le groupement urbain de Tlemcen, Mémoire. Master,100p
- **LUCAS Gabriel. (1942)**-Description Géologique et pétrographique des Monts de Ghar Rouban et de Sidi El Abed Monographie.539p
- **MERZOUGUI Fatma (2017)**.-Approche méthodologique god de l'étude de vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine (cas de la nappe alluviale de Sebaou). Mém. Master, ENSH .Blida, 47 p.
- **RODIER Jean (2005)**- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. 8eme édition, Dunod, Paris, 1383p.
- **RODIER Jean (2009)**- L'analyse de l'eau : eaux naturelles. 9eme édition, Dunod, Paris, 1383p.
- **SFERDJLI Fouzia (2016)**- Les périmètres de protection des ouvrages de captages des eaux souterraines, bibliographie et étude de cas. Mém. Master, Univ. Tlemcen, 89 p.
- **WHO (World Health Organization) (1994)**- Directive de qualité de l'eau de boisson critères d'hygiène, 2<sup>e</sup> édition, vol, Genève.

### Site internet :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya\\_de\\_Tlemcen](https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilaya_de_Tlemcen) .

<https://www.tutiempo.net/index.html>.

- Google Map.

### Carte consultées :

-Carte topographique de Tlemcen, au 1/50000.

-Carte géologique de Tlemcen, au 1/50000.

### Logiciels :

-Diagrammes version 6.57.

- Mapinfo 8.

# **ANNEXES**

**Tableau N° 01 : Précipitations enregistrées dans la station de Tlemcen (1995-2020).**

	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
1995-1996	15.6	43.4	20.7	82.5	123.4	106.1	119.9	52.1	54.9	21.0	10.8	9.8
1996-1997	36.2	26.9	0.2	39.2	119.6	0.1	15.4	104.0	16.3	2.8	18.0	31.0
1997-1998	54.4	29.4	73.3	100.5	39.2	52.2	62.2	34.5	79.4	0.8	0.0	2.3
1998-1999	14.1	6.9	46.4	16.9	164.0	94.4	120.8	0.0	0.4	7.4	0.5	2.7
1999-2000	40.4	34.1	93.7	105.2	0.0	0.0	2.4	26.6	36.4	0.0	0.0	0.0
2000-2001	21.6	108.9	68.0	47.9	84.2	80.2	7.9	10.0	28.6	7.8	0.0	0.0
2001-2002	43.7	51.4	158.2	35.1	2.3	14.8	40.0	120.6	78.0	0.7	0.0	32.8
2002-2003	0.0	45.2	105.2	30.8	172.3	103.4	19.6	49.5	14.1	5.8	0.0	0.4
2003-2004	14.2	72.3	63.8	139.4	50.3	25.5	115.0	49.2	90.7	14.9	3.3	3.7
2004-2005	1.8	32.2	44.5	88.7	26.6	71.4	72.1	27.4	5.2	5.1	0.0	1.0
2005-2006	20.5	31.7	56.4	49.0	79.3	95.7	32.0	39.3	74.5	1.9	5.5	0.0
2006-2007	36.6	15.7	7.9	71.7	29.8	46.3	52.8	127.0	15.2	0.0	0.0	0.8
2007-2008	21.5	93.7	66.6	14.0	34.7	22.1	20.1	24.0	71.1	7.2	1.3	0.0
2008-2009	58.7	97.6	106.9	202.3	175.7	50.2	39.5	54.5	21.7	5.5	4.5	0.2
2009-2010	95.3	2.0	59.0	60.9	64.5	82.0	118.7	50.9	40.1	20.6	0.8	11.1
2010-2011	24.3	98.7	61.5	45.4	47.6	53.0	28.0	93.4	102.6	20.2	0.0	10.0
2011-2012	6.5	123.7	122.1	35.3	21.6	72.1	33.1	47.0	14.7	2.3	5.4	8.2
2012-2013	21.6	50.7	309.2	18.6	160.8	113.5	100.8	45.6	74.9	0.0	2.2	4.5
2013-2014	43.6	0.0	61.3	198.5	129.4	84.6	64.9	19.2	26.8	30.1	0.2	0.0
2014-2015	28.7	13.5	71.8	145.2	80.3	98.9	33.5	11.3	63.0	2.4	0.8	16.2
2015-2016	21.0	48.7	31.5	0.0	52.8	151.9	80.3	137.5	30.6	4.5	1.5	1.1
2016-2017	29.5	48.9	77.5	71.6	79.0	67.5	56.1	53.5	44.7	7.7	2.6	6.5
2017-2018	1.0	15.0	7.6	34.8	38.6	31.2	80.8	77.0	15.3	8.6	0.0	0.5
2018-2019	15.24	79.24	35.81	2.03	63.23	10.92	6.35	34.55	26.23	0.25	8.12	1.02
2019-2020	8.39	55.87	59.69	24.63	17.53	0	8.88	108.72	28.19	0	0.25	2.03

Source : ANRH (1995-2017)/ complété par le site Tutiempo.

**Tableau N° 02 : Températures moyennes mensuelles enregistrées dans la station de Tlemcen (1995-2020).**

	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
95-96	20.8	19.5	16.5	13.2	12.3	9.5	12.5	14.7	17.2	23	25	24.6
96-97	20.7	17.2	14.3	12.6	11.5	12.9	14	16.1	17.9	21.6	23.3	24.8
97-98	21.1	16.9	13.5	11.5	11.9	13.7	13.9	15.3	20.9	25.2	26.6	26.9
98-99	21.2	15.6	12.4	10.2	9.7	11.1	15.3	18.5	21.6	25	25.9	26.5
99-00	21.7	20.5	12.5	10	9.1	13.4	13.7	14.5	18.9	24.3	26.3	27.1
2000-2001	22.9	17.1	13.7	13.4	11.5	11.5	16	15.7	17.9	25	26.5	27.1
2001-2002	22.9	21.8	12.6	11.1	10.9	12.7	14	14.4	17.9	23.9	25.5	24.4
2002-2003	22.3	19.3	14.3	12.5	8.8	9.7	13.9	15.2	16.2	24.9	28.2	27.7
2003-2004	23.8	19.8	14.9	11.4	11.9	12.5	12.9	14.6	15.6	24	27.5	27.9
2004-2005	24.9	21.5	13.2	10.8	8.4	8.2	12.3	14.3	20.4	24.3	26.7	27.1
2005-2006	22.2	19.9	13.7	10.4	9.5	9.9	13.9	17.7	20.1	23	28.1	26.6
2006-2007	23.4	21.6	17.1	10.9	11.6	12.3	12.3	13.1	18.5	21.5	25.7	26.9
2007-2008	23	18.4	13.8	10.2	10.3	11.3	11.7	16.7	16.3	21.9	26.7	27
2008-2009	22.8	18.2	11.2	8.6	8.3	9.5	12.4	14	19.9	24.3	28.4	26.5
2009-2010	21.5	20.1	17.5	13.3	11.1	12.8	13.1	15.4	17	20.9	27.8	27.7
2010-2011	24.1	18.5	13.5	8.4	10.5	9.5	11.8	16.4	18.6	22.5	26.5	26
2011-2012	24.3	20.7	15.1	10.6	9.6	7.9	12	13.7	20.4	25.1	26.7	29.3
2012-2013	24.1	19.6	14.8	11.7	10.9	9.6	13.5	14.3	16.6	20.6	24.8	26.2
2013-2014	23.1	21	12.8	10.5	11.4	11.3	12.2	17.1	19.4	20.7	24.7	26
2014-2015	22.6	21.4	15.8	10.6	12.3	12.1	12.9	16.8	19.6	20.8	22	22.7
2015-2016	22.9	20.1	14.4	11.9	13	13.1	12.6	15.9	19	23.7	26.2	26.4
2016-2017	24.1	20.8	15.1	12.1	9	13.1	14.2	16.3	20.2	24.8	26.7	26.9
2017-2018	23.4	20	13.9	10.8	11	10.1	14	14.9	17.4	21.9	25.6	27.1
2018-2019	24.1	18.7	14.1	11.69	9.9	10.6	13.4	15.5	20.1	22	25.9	26.7
2019-2020	23.6	19.4	14.5	12.8	9.2	12.6	15.4	17.5	22.8	23.4	27	27.5

Source : ANRH (1995-2017)/complété par le site Tutiempo.

**Tableau N°03 : Numéros correspondants aux dates des analyses.**

Numéro des échantillons	Dates	Balance ionique (%)
1	08-02-99	2%
2	06-03-99	4%
3	06-04-99	3%
4	03-05-99	5%
5	11-05-99	5%
6	06-06-99	1%
7	03-07-99	0%
8	21-08-99	4%
9	04-09-99	2%
10	03-10-99	1%
11	09-11-99	3%
12	04-12-99	1%
13	02-01-00	2%
15	01-03-00	1%
16	01-04-00	4%
17	03-05-00	3%
18	03-06-00	5%
19	01-07-00	2%

**Tableau N° 04 : Paramètres physico-chimiques de la source d'Ain El Koudia.**

paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne
Ca <sup>2+</sup>	40.000	118.000	74.722
Mg <sup>2+</sup>	28.000	70.000	42.333
Na <sup>+</sup>	23.000	46.000	33.833
K <sup>+</sup>	1.000	4.000	1.833
Cl <sup>-</sup>	61.000	88.000	69.944
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	24.000	96.000	52.944
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	143.000	396.000	323.833
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.000	21.000	12.389
pH	7.500	8.600	7.883
Conductivité 25C°	466.000	907.000	765.500
Minéralisation	289.000	592.000	478.722
Résidu sec	360.000	840.000	590.000

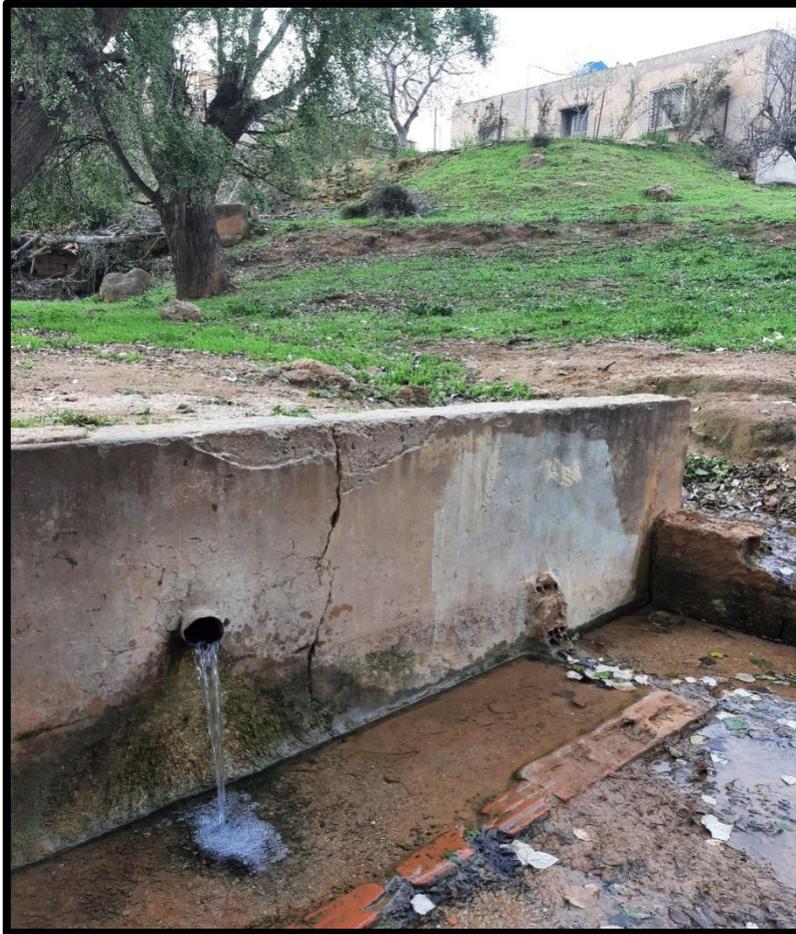
**Tableau N°05 : Classification des eaux d'irrigation, d'après Servant ,1975 (U.S SalinityLab).**

Degré	Qualité	Classe	Description
1	Excellent	C1-S1	Eau utilisable sans danger dans l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation des plantes moyennement tolérantes aux sels sur sol ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles, au sodium et aux sols à forte capacité d'échanges d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3-S1	En général, eau convenant à l'irrigation cultures tolérantes aux sels, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation, mais pouvant être utilisées sous certaines conditions sols très perméable, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

**Tableau N°06 : Normes algériennes de potabilité des eaux.**

Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible
<b>Calcium</b>	mg/L	200
<b>Magnésium</b>	mg/L	150
<b>Sodium</b>	mg/L	200
<b>Chlorures</b>	mg/L	500
<b>Potassium</b>	mg/L	12
<b>Sulfates</b>	mg/L	400
<b>Nitrates</b>	mg/L	50
<b>Résidu sec</b>	mg/L après séchage à 105°C	1500
<b>pH</b>	-	≥ 6,5 et ≤ 9
<b>Conductivité</b>	μS/cm à 20°C	2800
<b>Dureté totale</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	500

Source : JORA (2011-2014).



**Photo N° 01 : La Source Ain El Koudia.**



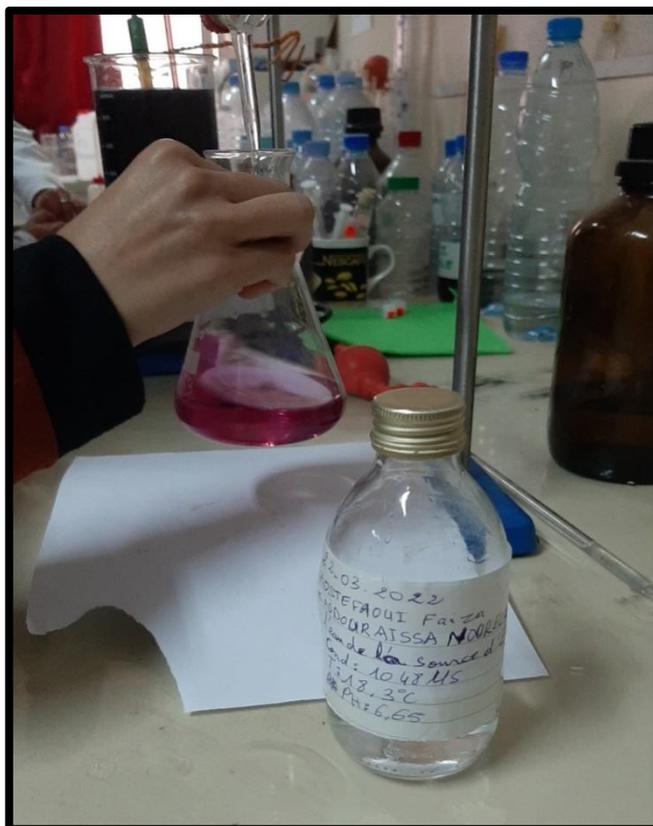
**Photo N° 02 : Echantillonnage.**



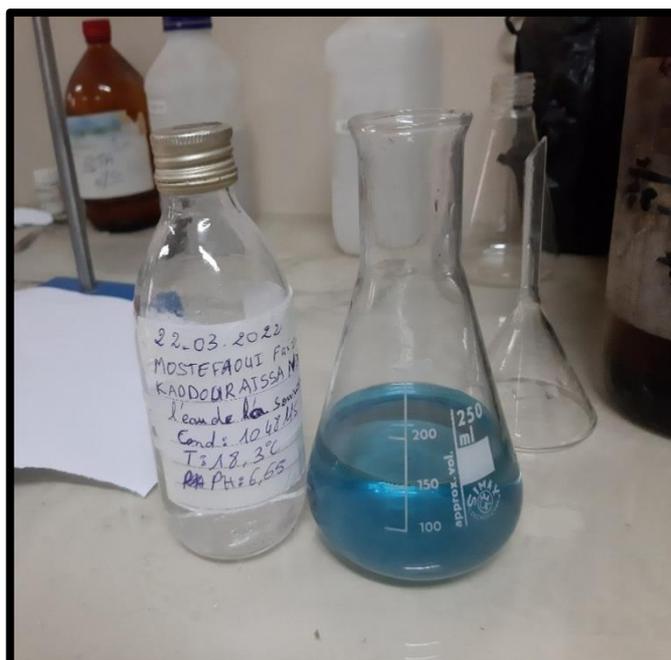
**Photo N° 03 : Conductimètre.**



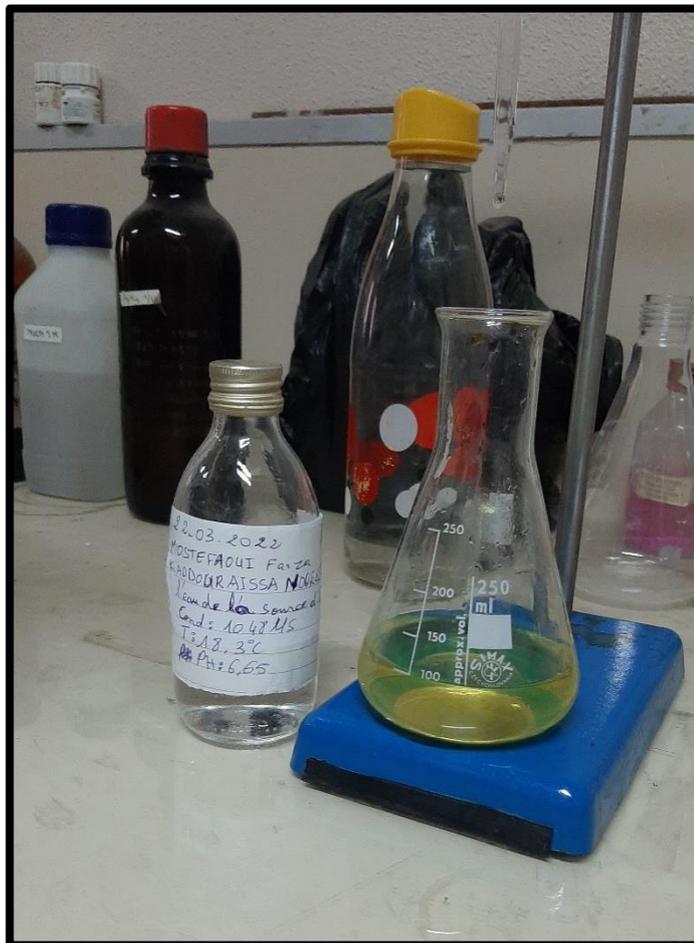
**Photo N° 04 : pH mètre.**



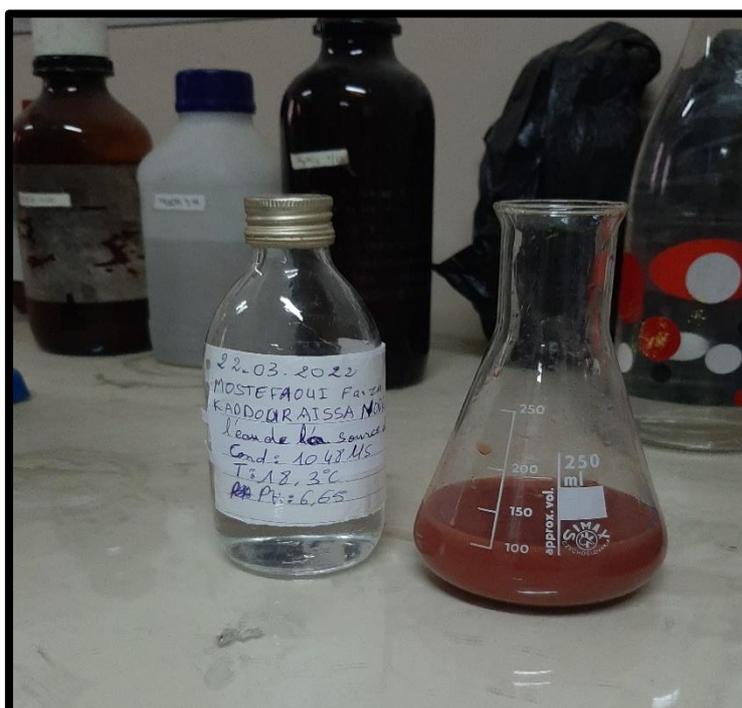
**Photo N° 05** : Mesure au laboratoire de la dureté totale (au début coloration violette).



**Photo N° 06** : Dosage de la dureté totale  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  jusqu'à coloration bleu Franc de la source Ain El Kouidia.



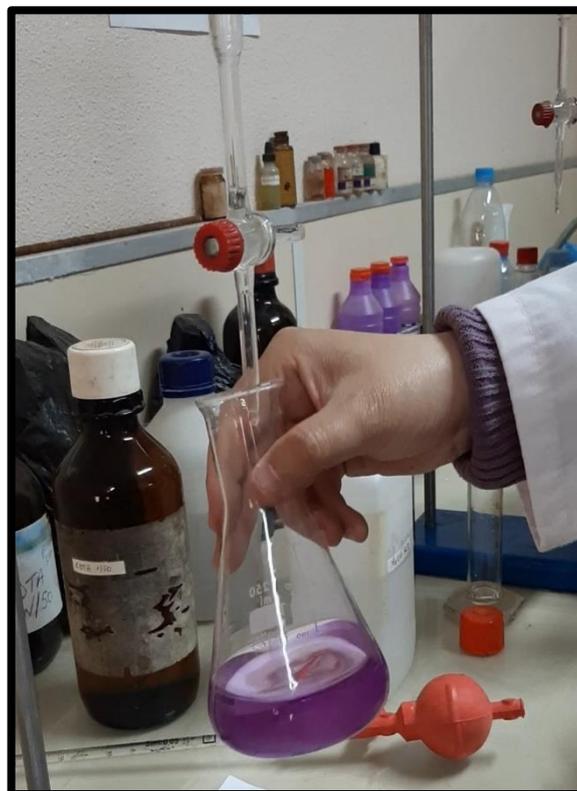
**Photo N° 07 :** Solution de Dichromate de Potassium a une coloration JAUNE avant dosage des Chlorures  $\text{Cl}^-$  de la source Ain El Koudia.



**Photo N° 08 :** Dosage des Chlorures  $\text{Cl}^-$  (Méthode de Mohr) jusqu'à coloration ROUGE qui persiste de la source Ain El Koudia .



**Photo N° 09** : Avant dosage du Calcium  $\text{Ca}^{2+}$  on a une coloration ROSE VEINEUX de la source Ain El Koudia.



**Photo N° 10** : Dosage du Calcium  $\text{Ca}^{2+}$  jusqu'à coloration BLEUE de la source Ain El Koudia.

## ملخص:

المساهمة في الدراسة النوعية لمياه عين الكدية (تلمسان، غرب الجزائر).

يتمثل هذا العمل في دراسة أصل تمعدن منبع عين الكدية و دراسة مكوناته الفيزيوكيميائية حيث يقع جنوب بلدية الكدية تلمسان، و يحمل نفس اسم المنطقة. وفقا للتحليلات الفيزيائية و الكيميائية لهذا المنبع تبين أنها ضمن معايير القابلية الجزائرية للشرب باستثناء بضع السنوات ذات نسب عالية من الصلابة الكلية لا تتوافق مع معايير الشرب.

فيما يتعلق بالري أظهرت نتائج حساب المؤشرات مثل النسبة المئوية ل  $Na^+$  و KR جيدة جدا إلى جيدة ( $Na^+$  و ذات نوعية جيدة (KR أقل من 1).

توضح المخططات التابعة لمجال الري أن المياه جيدة إلى مقبولة : وفقا لمخطط RIVERSIDE ممتازة و جيدة بالنسبة إلى WILCOX.

صنف مخطط SCHOELLER-BERKALOFF المياه المدروسة إلى وجهتين : الأولى بربونات المغنيسيوم أما الثانية بربونات الكالسيوم. بينما أبرز مخطط

PIPER عائلتين : بربونات الكالسيوم والمغنيسيوم (أكثر الوجوه انتشارًا) وكلوريد الكالسيوم والمغنيسيوم كبريتات.

الكلمات المفتاحية: منبع عين الكدية- تلمسان- التحليل الفيزيائي كيميائي -مخطط - القابلية للشرب- الري - PHREEQ C- ACP- XLSTAT - التمدن.

## Résumé

### CONTRIBUTION A L'ETUDE QUALITATIVE DES EAUX DE LA SOURCE D'EL Koudia. (Tlemcen, Ouest Algerien).

Ce présent travail consiste à déterminer l'origine de laminéralisation de la source captée d'Ain El Koudia, située au Sud d'El Koudia (Tlemcen).

Les analyses des paramètres physico-chimiques disponibles des eaux de la source montrent que tous les paramètres étaient au-dessous des normes algériennes de potabilité, à l'exception de quelques années, où nous avons constaté des taux élevés de la dureté totale qui dépassent la norme maximale admissible.

En ce qui concerne l'aptitude à l'irrigation, les calculs des indices, comme le pourcentage en  $Na^+$  et le KR ont montré que les eaux étaient bonnes à très bonnes (%  $Na^+$ ) et de bonne qualité (KR inférieur à 1). La représentation par des diagrammes à des fins d'irrigation montre que les eaux sont bonnes à admissibles, selon le diagramme de RIVERSIDE et excellentes à bonnes selon WILCOX.

Le diagramme de SCHOELLER-BERKALOFF a classé les eaux en deux faciès : faciès bicarbonaté magnésien et faciès bicarbonaté calcique. Tandis que le diagramme de PIPER a fait ressortir deux familles : bicarbonaté calcique et magnésienne (la plus dominante) et chlorurée sulfatée calcique et magnésienne.

Le report des éléments chimiques sur le diagramme PHREEQ C, nous a montré que les indices de saturation pour les minéraux carbonatés sont généralement en équilibre, à l'exception de quelques périodes qui sont sous-saturées en dolomite et en calcite. Les minéraux évaporitiques sont sous-saturés pour toutes les eaux étudiées.

Les résultats analytiques de l'étude statistique ont montré que l'origine de la minéralisation est due à la dissolution des minéraux de l'aquifère carbonaté ainsi qu'aux facteurs anthropiques.

-**Mots clés** : Source d'El Koudia, Tlemcen, Analyses physico-chimiques, Diagrammes, Potabilité, Irrigation, XLSTAT, PHREEQ C, ACP, Minéralisation.

## ABSTRACT

### CONTRIBUTION OF THE QUALITATIVE STUDY OF THE WATERS OF THE EL Koudia SOURCE (Tlemcen, West of Algeria).

This present work consists in determining the origin of the mineralization of the captured source of Ain El Koudia, located south of El Koudia (Tlemcen). According to the analyzes of the available physical -chemical parameters of the waters from the source, all the parameters were below the Algerian potability standards, with the exception of a few years, where we noted the high rate of total hardness which met the maximum allowable standard. With regard to the suitability for irrigation, the calculations of the indices, such as the percentage of  $Na^+$  and the KR showed that the waters were good to very good (%  $Na^+$ ) and of good quality (KR less than 1). The representation by diagrams for irrigation purposes shows that the waters are good to acceptable, according to the diagram of RIVERSIDE and excellent to good according to WILCOX. The SCHOELLER-BERKALOFF diagram classified waters into two facies: magnesium bicarbonate facies and calcium bicarbonate facies. While the PIPER diagram highlighted two families: calcium and magnesium bicarbonate (the most dominant facies) and Calcium and magnesium sulfated chloride.

The ratio of chemical elements on the PHREEQ C diagram showed us that the saturation indices for carbonate minerals are generally in equilibrium, except for a few periods which are undersaturated in dolomite and calcite. The evaporitic minerals are under saturated for all the waters studied. The analytical results of the statistical study showed that the origin of the mineralization is due to the dissolution of the minerals of the carbonated aquifer as well as to anthropogenic factors.

**Key Words**: Source of El Koudia, Tlemcen, Physical chemical analysis, Diagrams, Potability, irrigation, XLSTAT, PHREEQ C, PCA, Mineralization.

